

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Prof. Dr. A. Petschelt

Qualitative und quantitative Randalanalyse
zervikaler Füllungen
am Rasterelektronenmikroskop.

Inaugural- Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich- Alexander- Universität
Erlangen- Nürnberg

vorgelegt von
Jürgen Neubauer
aus Jahrdorf

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg

Dekan:	Prof. Dr. Dr. G. Lehnert
Referent:	Prof. Dr. R. Hickel
Korreferent:	Prof. Dr. A. Petschelt
Tag der mündlichen Prüfung:	09.06.1993

meinen Eltern
Anna und Johann Neubauer
in großer Dankbarkeit
gewidmet

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	Einleitung	6
	1.1 Literaturübersicht	8
	1.2 Ziel der Studie	13
2	Material und Methode	14
	2.1 Probenherstellung	14
	2.1.1 Kavität und Vorbehandlung	14
	2.1.2 Füllungsmaterialien	15
	2.1.3 Applikation und Verarbeitung	17
	2.1.3.1 Glasionomer- und Cermetzement	17
	2.1.3.2 Sandwichtechnik	17
	2.1.3.3 Dentinadhäsive	18
	2.2 Temperaturwechselbelastung	20
	2.3 Replikaherstellung	21
	2.4 Quantitative Randanalyse am Rasterelektronenmikroskop	22
3	Ergebnisse	29
	3.1 Rand im koronalen Füllungsabschnitt	29
	3.2 Rand im Wurzelzement/Dentin	33
	3.2.1 Varianzanalyse	33
	3.2.2 T-Test	42
	3.3 Übergang Komposit/Glasionomerzement	43
4	Diskussion	48
	4.1 Rand im koronalen Füllungsabschnitt	48
	4.2 Rand im Wurzelzement/Dentin	49
	4.2.1 Problem der Dentinvorbehandlung	50
	4.2.2 Glasionomerzemente	52
	4.2.3 Sandwichtechnik	54
	4.2.4 Dentinadhäsive	57
5	Zusammenfassung	60
6	Literaturverzeichnis	62
7	Anhang	76
	7.1 Abkürzungen	76

	Seite
7.2 Materialien	76
7.3 Varianzanalyse	78
7.4 T-Test	88
7.5 Kruskal-Wallis-Test	89
Danksagung	108
Lebenslauf	109

1 Einleitung

Die zervikale Füllung stellt innerhalb der restaurativen Zahnheilkunde ein besonderes Problemgebiet dar. Kavitäten, deren Ränder im Schmelz liegen, können heute unter Verwendung von Kompositmaterialien mit Hilfe der Säureätztechnik randdicht versorgt werden (13, 14, 15, 16, 29, 31, 80, 81, 85, 99, 100, 104, 105, 107, 115). Mit den herkömmlichen Mitteln ist es jedoch nicht möglich, eine ähnlich feste Verbindung zwischen Füllungsmaterial und Dentin herzustellen.

Somit weisen Kompositfüllungen, die nicht zirkulär im Schmelz verankert werden können, bedingt durch Kontraktion beim Polymerisationsvorgang beziehungsweise durch mechanische oder thermische Belastungen, am zervikalen Rand einen Spalt auf (95). Reizungen des marginalen Parodontiums (70) und Pulpaveränderungen durch bakterielle Infektion (11) sind mögliche Folgen.

Für nach der Säureätztechnik verarbeitete Kompositfüllungen gab Lutz bereits 1976 Haftwerte im Schmelz von 10 bis 20 MPa* an (81). Wäre es möglich, ähnlich feste und dauerhafte Verbundmechanismen zum Dentin zu entwickeln, so könnten Füllungen, deren Ränder im Wurzelzement/Dentin liegen, randspalt- und perkulationsfrei gelegt werden, der Substanzverlust bei der Kavitätenpräparation ließe sich einschränken und schmerzendes, freiliegendes Dentin könnte im Sinne einer Versiegelung versorgt werden.

Jedoch liegen die Haftfestigkeiten von Dentinadhäsiven und Glasionomerkementen am Dentin, je nach Autor und verwendeter Technik stark variierend, zumeist deutlich niedriger als der geforderte Mindestwert, den Hansen und Asmussen

*: Die Erläuterungen zu allen verwendeten Abkürzungen sind in Abschnitt 7.1 aufgeführt.

auf etwas mehr als 20 MPa veranschlagt haben (4, 5, 7, 37, 49, 60, 94, 101, 102, 127, 129, 130).

Die Fähigkeit, eine Adhäsion zur Zahnhartsubstanz aufzubauen, wird zwar als wichtiger Schritt zur Vermeidung von Randspalten angesehen (142), jedoch können Haftfestigkeitswerte alleine keinen umfassenden Eindruck darüber vermitteln, inwieweit sich die einzelnen Materialien dazu eignen, eine randdichte Verbindung zum Dentin herzustellen (42, 131).

In zahlreichen wissenschaftlichen Studien zur Randständigkeit verschiedener Füllungsmaterialien konnte bisher kein Material gefunden werden, das zum Wurzelzement/Dentin hin dichte Randqualitäten aufweist. Farbstoffpenetrationsversuche, REM-Analysen und klinische Untersuchungen haben deutlich gezeigt, daß es mit den bislang zur Verfügung stehenden Materialien und Techniken nicht gelungen ist, im zervikalen Bereich ähnlich perfekte Randverhältnisse zu erzielen, wie sie im schmelzbegrenzten Füllungsabschnitt möglich sind (1, 41, 42, 51, 52, 71, 74, 78, 123, 124, 135, 136).

Versuche, mit veränderten Applikationstechniken, Dentinvorbehandlungen oder Kombinationen verschiedener Materialien den Randschluß zu optimieren, führten zwar vereinzelt zu Verbesserungen, jedoch in keinem Fall zu perfektem Rand (20, 41, 50, 67, 81, 88, 141, 143).

Die zervikale Füllung wirft zusätzlich zu diesen noch unbefriedigend gelösten materialtechnischen Fragen weitere Probleme auf. Roulet et al. verweisen auf die grundsätzlich pulpanahe Präparation mit der Gefahr einer akzidentellen Eröffnung (120). Kariöse Läsionen im Wurzelbereich stellen sich in räumlich enger Beziehung zum Pulpenkavum dar. Die Nähe zur Gingiva bedeutet einerseits ein besonderes Problem hinsichtlich Trockenlegung (Sulcusfluid, Speichel, Einblutungen), verlangt

jedoch andererseits größte Sorgfalt zur Vermeidung von Plaque-retentionen an Füllungsrand und -oberfläche (120).

Die zu erwartende demoskopische Entwicklung in Deutschland und anderen Industrieländern verleiht diesem Schwachpunkt der restaurativen Zahnheilkunde eine zusätzliche Brisanz. Um das Jahr 2000 werden 60% der über 60-jährigen noch eigene Zähne haben (24). Die Zahnmedizin der Zukunft wird daher immer häufiger mit freiliegenden Wurzeloberflächen und ausgedehnten kariösen Defekten im Zahnhalsbereich konfrontiert werden und muß somit bemüht sein, den speziellen Problemen der älteren Patienten gerecht zu werden.

Die zu erwartende Zunahme dieser für den älteren Patienten typischen Befunde läßt die Probleme mit randdichten, ästhetisch einwandfreien und dauerhaften Füllungsmaterialien für den zervikalen Bereich immer häufiger auftreten. Derzeit ist der Zahnarzt jedoch nach wie vor gezwungen, in einer behandlingstechnisch schwierigen Situation Kompromisse einzugehen und die Vor- und Nachteile der angebotenen Materialien im Hinblick auf Eigenschaften, Verarbeitung und Ästhetik sorgfältig abzuwägen.

1.2 Literaturübersicht

Bei der Durchsicht bisher veröffentlichter Untersuchungen fällt auf, daß Glasionomerezemente nach wie vor als das Mittel der Wahl für die Versorgung zervikaler Kavitäten betrachtet werden (52, 75). In zahlreichen klinischen Nachuntersuchungen und Langzeitstudien werden hohe Retentionsquoten und akzeptable Randqualität beschrieben (52, 63, 64, 65, 112, 135).

Im Zuge einer klinischen Nachsorgeuntersuchung von insgesamt 146 zervikalen Glasionomerezement-Füllungen über einen Zeitraum von 2 Jahren stellten Knibbs et al. 1986 eine Retentionsrate

von 100% fest, wobei außerdem 94% der Füllungen einen klinisch dichten Rand und 99% keinerlei Anzeichen von Sekundärkaries aufwiesen (64). Eine ähnlich konzipierte Nachuntersuchung verzeichnet den Verlust von lediglich 9 Füllungen aus einem Gesamtmaterial von 142 Glasionomermaterial-Restaurationen nach zweieinhalbjähriger Tragedauer (65). In einer weiteren von Knibbs und Plant 1986 veröffentlichten klinischen Studie wird für Klasse-V-Füllungen mit Glasionomermaterial eine Retentionsquote von 100% nach einer durchschnittlichen Tragedauer von 14 Monaten beschrieben (63).

Diese guten Ergebnisse stimmen überein mit den Untersuchungen von Voß und Hickel, die insgesamt 257 zervikale Restaurationen nach einer Dauer von bis zu 6 Jahren nachkontrolliert haben. Dabei wurde bei GIZ eine gegenüber Komposit deutlich höhere Zahl spalt- und sekundärkariesfreier Füllungen gefunden (136). Die relativ hohe Verlustrate von 7,5% bei den GIZ-Füllungen begründen die Autoren mit der Tatsache, daß zu Beginn der Studie ein Teil der Füllungen ohne Präparation einer retentiven Kavität gelegt wurde (136).

Eine weitere Nachsorgeuntersuchung von Hickel und Voß bestätigt die guten Langzeitergebnisse zervikaler GIZ-Füllungen und veranlaßt die Autoren darüberhinaus zu der Schlußfolgerung, daß die Retentionsquote zervikaler Glasionomermaterialfüllungen nicht von der Liegedauer sondern von dem Vorhandensein einer definierten, zirkulären Kavität abhängt (52).

Reich gibt 1989 nach Untersuchungen über einen Zeitraum von bis zu vier Jahren die Verlustquote zervikaler GIZ-Füllungen mit 5% an und favorisiert sie, auch auf Grund der besseren Randqualität, gegenüber sogenannten "Sandwich"-Füllungen, die zu 15% verlorengingen (112).

Eine weitere von Reich 1991 veröffentlichte klinische Studie nach einer durchschnittlichen Tragedauer von 30 Monaten bestätigt die höhere Verlustquote von Sandwich-Füllungen (15,8%) gegenüber GIZ-Füllungen (5%). Die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung der Füllungsrän­der im Dentin ergab nach dem Legen der Füllungen signifikant weniger Randspalten bei GIZ-Füllungen. Am Ende der Beobachtungszeit wiesen die GIZ-Füllungen allerdings nur noch gegenüber einer Gruppe von Sandwich-Füllungen signifikant weniger Randspalten auf (113).

In einer klinischen Untersuchung von Hänggi et al. (1990) betrug die Retentionsrate zervikaler Sandwich-Füllungen nach einem Jahr 100% (40). Bei der genauen Nachkontrolle der im Dentin gelegenen Füllungs­rän­der mit Sonden verschiedener Krümmungsradien ergab sich dabei ein Anteil von 18,5% bzw. 20,2% an Füllungs­rän­dern, die mit der feinsten Sondenspitze (Krümmungsradius 25 µm) nicht getastet werden konnten. Die zusätzlich durchgeführte rasterelektronenmikroskopische Analyse der Füllungs­rän­der zeigte einen Anteil von lediglich 9,7 bzw. 3,2% perfekten Randes (40).

Die Ergebnisse mehrerer In-vitro-Randanalysen bestätigen, daß nach Anwendung der Sandwich-Technik ein zum Wurzelzement/Dentin hin ungenügender Randschluß zu beobachten ist (119, 125, 126). Reich und Völkl fanden bei einer REM-Analyse von Sandwich-Füllungen einen im Vergleich zu reinen GIZ-Füllungen deutlich schlechteren Randschluß (111).

Bemühungen, das Problem der Randspaltbildung im nicht schmelz­begrenzten Abschnitt zervikaler Kavitäten einer Lösung näher zu bringen, führten zur Entwicklung sogenannter Dentin­haft­mittel (Dentinadhäsive).

In von Blunck 1989 durchgeführten REM-Untersuchungen über den zervikalen Randspalt bei Komposit-Restaurationen mit Haftver-

mittlern konnten sich insbesondere die Materialien Scotchbond[®] und Gluma[®] von den übrigen Materialien absetzen (9).

Dieses Ergebnis wird bestätigt durch REM-Untersuchungen von Seichter, die ebenfalls für Scotchbond[®] die signifikant besseren Randverhältnisse zeigen (124). Dennoch entsprechen nach dem Urteil der Autorin die Ergebnisse "in keinem Fall den Anforderungen, die an das Verbundsystem Wurzelzement und Füllungsmaterial gestellt werden müssen" (124).

Haller et al. konnten 1987 an Hand von REM-Analysen keine Verbesserung im Randschlußverhalten zervikaler Kompositfüllungen bei Verwendung der Dentinadhäsive Bondlite[®] und Dura-fill Dentin Adhesive[®] feststellen (41). In-vitro-Untersuchungen von Prati et al. (1991) kommen ebenfalls zu dem Ergebnis, daß mit Dentinadhäsiven noch keine befriedigenden Resultate hinsichtlich Haftfestigkeit und Randadaptation im Verbund Komposit/ Dentin erreicht werden können (109).

Leinfelder et al. fanden 1986 unter klinischen Bedingungen eine im Vergleich zu GIZ schlechtere Randqualität (78). Weitere klinische Studien aus den Jahren 1987 und 1988 kommen ebenfalls zu dem Ergebnis, daß durch die Anwendung von Dentinadhäsiven Retentionsquote und Dentinrandschluß zervikaler Kompositfüllungen nicht weiter optimiert werden können (76, 134).

Im Rahmen einer von Horsted-Bindslev et al. über einen Zeitraum von zwei und drei Jahren durchgeführten klinischen Nachkontrolle erreichte das Material Gluma[®] zwar im Vergleich zu anderen Dentinadhäsiven eine deutlich höhere Retentionsquote, erwies sich jedoch gegenüber der Kontrollgruppe mit Glasionomerzement lediglich als gleichwertig (58).

1991 wird in 2-Jahres-Studien von van Meerbek et al. und Duke et al. die Retentionsquote von Scotchbond[®] 2 mit 88 bzw. 86%

angegeben, wobei am inzisalen Rand keine Schmelz-Ätz-Technik angewendet wurde (26, 90).

Die in jüngster Zeit optimierten Dentinadhäsiv-Systeme etablieren den Haftaufbau zum Dentin produktspezifisch mit Schmelz- und Dentinkonditionierung, Dentinpriming, Universalbonding sowie mit exakt auf das Adhäsiv abgestimmten Füllungskompositen (84).

Lutz und Kreijci geben 1992 für vier Dentinadhäsiv-Systeme (A.R.T. Bond/Brilliant D, Gluma 2000/Pekafill, Prisma UB 3/AP.H und Syntac/Tetric) einen Anteil von über 70% perfekten Randes nach Temperaturwechselbelastung an. Diese unter In-vitro-Bedingungen ermittelte hohe Randqualität veranlaßt die Autoren dazu, im Dentin gelegene Füllungsrän-der nicht länger als Indikationseinschränkung adhäsiver Füllungstechnik gelten zu lassen (84).

Hingegen verweist Haller (1992) auf den Bedarf an kontrollierten klinischen Untersuchungen und fordert auf lange Sicht die Entwicklung praxisgerechter Systeme mit gemeinsamer Vorbehandlung von Schmelz und Dentin (47).

Neuere Veröffentlichungen berichten von der Technik direkter zervikaler Adhäsivinlays, mit deren Hilfe ein Großteil der bei der plastischen Füllungstechnik unvermeidlichen Polymerisationsschrumpfung kompensiert wird und die somit dazu geeignet sein soll, die Dentinrandverhältnisse weiter zu optimieren (32, 43, 68, 83).

Haller et al. fanden 1990 eine Verbesserung der Wirksamkeit von Dentinhaftmitteln bei Verwendung der zervikalen Inlaytechnik (43). Auch Kreijci et al. konnten 1992 in einer In-vitro-Studie nachweisen, daß die adhäsive Inlaytechnik Dentinhaftung und Randschluß sogenannter "gemischter Klasse-V-Kavitäten"

signifikant verbessert. Die Autoren bezeichnen dieses System jedoch als "Spitze der Komplexität" und verweisen auf die Notwendigkeit der Entwicklung einfacher zu handhabender Systeme (69).

Diese Füllungstechnik befindet sich derzeit noch im Stadium der Vorevaluation. Klinische Erfahrungen liegen bislang nicht vor. Wichtigstes Ziel auf diesem Gebiet ist die Entwicklung von Kunststoffen mit deutlich reduzierter Polymerisations-schrumpfung (45).

1.3 Ziel der Studie

Ziel dieser Untersuchung ist, das Verhalten von Glasionomerzementfüllungen, Füllungen nach der Sandwichtechnik und Dentinadhäsiv-Kompositfüllungen an den Rändern einer zervikalen Kavität unter In-vitro-Bedingungen zu überprüfen.

Die Randqualität der einzelnen Materialien soll im Zuge einer quantitativen Randanalyse am Rasterelektronenmikroskop vor und nach thermischer Belastung ermittelt werden.

Darüberhinaus soll der Einfluß unterschiedlicher Methoden der Kavitätenvorbehandlung auf die Randverhältnisse zervikaler Glasionomer- und Sandwichfüllungen untersucht werden. Desweiteren ist die Qualität des Überganges GIZ/Komposit bei Füllungen, die nach der Sandwichtechnik verarbeitet wurden, in Abhängigkeit von der Bearbeitung der GIZ-Unterfüllung von Interesse.

2 Material und Methode

2.1 Probenherstellung

2.1.1 Kavität und Vorbehandlung

Das Gesamtmaterial von insgesamt 101 frisch extrahierten, in physiologischer Kochsalzlösung gelagerten Zähnen wurde nach dem Zufallsprinzip auf 10 Gruppen verteilt.

Vor der Präparation wurden die Zähne mit einem Polierer¹⁹ und einer Bims-Wasser-Suspension bei niedriger Drehzahl im Grünring-Winkelstück¹² gereinigt. Mit dem Rotring-Winkelstück¹² und einem kugelförmigen Finierdiamanten⁶ wurde an jedem Zahn eine kreisrunde Kavität präpariert, die halb im Schmelz und halb im Wurzelzement lag.

Als Anschlag diente dabei ein aus kaltpolymerisierendem Kunststoff¹⁷ und federhartem Draht (Durchmesser 0,7 mm) gefertigter Aufsatz für den Kopf des Winkelstückes. Die resultierende Kavität betrug im Durchmesser 3 mm, der Kavitätenboden wies eine der Form des Kugeldiamanten entsprechende Wölbung auf.

Vor dem Einbringen des jeweiligen Füllungsmaterials erfolgte die Reinigung der Kavität durch Wasserspray für die Dauer von 10 Sekunden mit anschließendem Trockenblasen. Daraufhin wurde die Kavität, ebenfalls 10 Sekunden lang, mit 3%igem H₂O₂ gereinigt und erneut im Luftstrom getrocknet.

In einzelnen Gruppen wurde im Anschluß an die Wasserspraybehandlung von dem beschriebenen Vorgehen abgewichen und statt einer Reinigung mit H₂O₂ eine Kavitätenvorbehandlung mit Gerbsäure (25%ig), beziehungsweise mit einem Conditioner¹³ vorgenommen (siehe Tabelle 1).

Die Gerbsäure wurde 30 Sekunden lang mit einem Wattepellet appliziert, die Anwendung des Ketac[®] Conditioners, eine 25%ige Polyakrylsäurelösung, erfolgte nach den Herstellerangaben für die Dauer von 10 Sekunden unter Zuhilfenahme der beiliegenden Kanülen. Den Abschluß der Vorbehandlung bildete in diesen Fällen ebenfalls das Trocknen im schwachen Luftstrom.

Bei der Verarbeitung der Dentinadhäsiv-Systeme kam jeweils die vom Hersteller angegebene Vorbehandlung mit den beiliegenden Agentien (siehe 2.1.3.3) zur Anwendung.

2.1.2 Füllungsmaterialien

Die Weiterverarbeitung erfolgte, je nach Gruppe, durch Versorgen der Kavität mit einer Glasionomerezementfüllung, einer Füllung nach der Sandwichtechnik beziehungsweise einer Kompositfüllung unter Verwendung eines Dentinhaftmittels.

So resultierten 10 vergleichbare, hinsichtlich Füllungsmaterial, Füllungstechnik und Kavitätenvorbehandlung variierende Gruppen von Proben mit der Stückzahl $n=10$ (außer Gruppe 1, $n=11$).

Tabelle 1 a bis c zeigt die Einteilung und die Materialkombinationen im Überblick.

a) Glasionomerezemente

Gruppe	Vorbehandlung	Füllungsmaterial
1	H ₂ O ₂	Ketac ^R -Fil
2	Ketac ^R Conditioner	Ketac ^R -Fil
3	Gerbsäure	Ketac ^R -Fil
4	H ₂ O ₂	Chemfil ^R 2
5	H ₂ O ₂	Ketac ^R -Silver

b) Sandwich-Technik

Gruppe	Vorbehandlung	GIZ-Unterfüllung	Deckfüllung
6	H ₂ O ₂	angeätzt	Visio ^R -Dispers
7	H ₂ O ₂	nur präpariert	Visio ^R -Dispers
8	Ketac ^R -Cond.	angeätzt	Visio ^R -Dispers

c) Dentinadhäsive

Gruppe	Material	Komposit
9	Scotchbond ^R 2	Silux ^R
10	Gluma ^R	Lumifor ^R

Tab. 1 a-c: Verwendete Materialien in der Übersicht.

2.1.3 Applikation und Verarbeitung

2.1.3.1 Glasionomer- und Cermetzement

Die Verarbeitung der Materialien erfolgte nach den Herstellerangaben. Die Kapseln der vordosierten Präparate Ketac[®]-Fil¹⁴ und Ketac[®]-Silver¹⁵ wurden im Silamaten^{® 23} für die Dauer von 10 Sekunden durchmischt. Das so vorbereitete Material konnte nun mit Hilfe der Applikationsspritze direkt aus der Kapsel in die Kavität eingebracht werden.

Das Präparat Chemfil[®] II² mußte auf einem Anmischblock nach Vorschrift von Hand dosiert, 30 Sekunden lang durchmischt und mit einem Handinstrument in die Kavität gefüllt werden.

Bei allen Glasionomer- und Cermetzementfüllungen wurde das Material mittels einer vorgeformten Zervikalmatritze (Schatzmannplättchen) an die Kavitätenwände mit Druck adaptiert. Nach 5 Minuten wurde die Matritze abgenommen, der grobe Überschuß mit einem Skalpell zügig entfernt und der Zement sofort wieder abgedeckt. Dies geschah unter Verwendung eines lichthärtenden Bondingmaterials (Visio[®]-Bond²⁸, Espe) und einer geeigneten Halogenlichtlampe (Elipar[®] II⁸, Espe).

24 Stunden nach Applikation erfolgte die endgültige Ausarbeitung mit feinkörnigen Diamantschleifern⁷ und Al₂O₃-Polierscheiben (Super-Snap^{® 26}, Shofu), stets unter Wasserkühlung mit dem blauen Winkelstück¹² im unteren Drehzahlbereich.

2.1.3.2 Sandwich-Technik

Für die Füllungen nach dieser Kombinationstechnik wurde der Glasionomerzement Ketac[®]-Fil verwendet und zunächst wie in 2.1.3.1 angegeben verarbeitet. Im weiteren Vorgehen wurde der GIZ zur Unterfüllung reduziert und der die

Kavität begrenzende Schmelz auf einer Breite von 1-2 mm angeschrägt. Die GIZ-Unterfüllung wies danach noch eine Dicke von ca. 1 mm auf, für die spätere Kunststoff-Deckfüllung verblieb somit noch eine Schichtdicke von etwa 0,5 mm. Der GIZ wurde im zervikalen Anteil, wie bei dieser Technik üblich, bis an den Kavitätenrand belassen.

Alle präparatorischen Maßnahmen geschahen unter ständiger Wasserkühlung, wobei zum Auskehlen des Glasionomermaterials und zum Anschrägen des Schmelzes ein kugel- bzw. flammenförmiger Diamant⁴ ⁵ zum Einsatz kam.

Danach folgte das Anätzen von Schmelz und GIZ mit 35%iger Phosphorsäure (Esticid⁹, Kulzer) und die Reinigung mit Wasserspray für jeweils 30 Sekunden. Als Besonderheit blieb bei den Proben von Gruppe 7 (siehe Tabelle 1) der Ätzvorgang auf den Schmelzschrägschliff beschränkt, so daß der GIZ ungeätzt verblieb. Visio^R-Bond wurde auf die so vorbereiteten Flächen aufgebracht und nach einer Penetrationszeit von 10 Sekunden ausgehärtet.

Es folgte die Applikation von Visio^R-Dispers²⁹ in 3-4 Schichten und die abschließende Ausarbeitung und Politur mit Feindiamant und Shofu Super-Snap^R, analog dem unter 2.1.3.1 bereits für Glasionomerezemente beschriebenen Vorgehen.

2.1.3.3 Dentinadhäsive

2.1.3.3.1 Scotchbond^R 2/Silux^R

Für die Verarbeitung von Scotchbond^R 2 wurde die Kavität im Schmelzbereich auf einer Fläche von 1-2 mm angeschrägt und mit dem dazugehörigen Ätzgel für 30 Sekunden geätzt. Nach einer ebenso langen Reinigung der Kavität im Luft/Wasserspray erfolgte die Applikation der beiden Komponenten von Scotch-

bond 2²¹.

Der Inhalt der Lösungen setzt sich wie folgt zusammen:

1. Scotchprep: 58,5% HEMA
2,5% Maleinsäure.
2. Adhesive: 62,1% Bis-GMA
37,2% HEMA.

Zunächst wurde "Scotchprep" auf die Dentinoberfläche aufgetragen, für 30 Sekunden mit einem Bürstchen eingerieben und im schwachen Luftstrom getrocknet. Anschließend wurde "Adhesive" appliziert, nach einer Einwirkdauer von 10 Sekunden vorsichtig verblasen und 20 Sekunden lang lichtgehärtet.

Danach wurde "Silux[®] 5501 SL Composite"²² in 3 bis 4 Arbeitsschritten schichtweise aufgetragen und für jeweils 20 Sekunden ausgehärtet. Ausarbeitung und Politur erfolgten wiederum unter Verwendung von Feindiamantschleifern und Polierscheiben (siehe 2.1.3.1 und 2.1.3.2).

2.1.3.3.2 Gluma[®]/Lumifor[®]

Das "Gluma Bonding System[®]"¹⁰ besteht aus vier Fläschchen folgenden Inhalts:

1. Gluma[®] Etchant: 37%ige Phosphorsäure, Hilfsstoffe.
2. Gluma[®] Cleanser: 0,5 M EDTA-Lösung.
3. Gluma[®] Primer: wäßrige Lösung von Glutaraldehyd und HEMA.
4. Gluma[®] Sealer: mehrfunktionelle Methacrylester, Hilfsstoffe.

Nach der Präparation der für alle Zähne einheitlichen Kavität (siehe 2.1.1) wurde der Schmelzanteil angeschrägt und Gluma[®]-1-Etchant mit dem Pinsel für 30 Sekunden aufgebracht. Danach folgten Absprayen (ebenfalls für 30 Sekunden) und Trocknen im schwachen Luftstrom.

Die Hersteller weisen ausdrücklich darauf hin, daß eine Kontamination des geschaffenen Ätzmusters mit den nachfolgend verwendeten Lösungen Gluma[®]-2-Cleanser und Gluma[®]-3-Primer keinen Einfluß auf die Haftung hat.

Dementsprechend wurde anschließend die Dentinfläche mit Gluma[®]-2-Cleanser unter Zuhilfenahme eines getränkten Wattepellets für 30 Sekunden mechanisch gereinigt. Nach Wasserspray und kurzem Trocknen erfolgte die Dentinkonditionierung mit Gluma[®]-3-Primer. Die Lösung wurde mit einem Wattepellet aufgetragen und nach einer Einwirkdauer von 30 Sekunden im Luftstrom getrocknet.

Die Kavitätenversiegelung mit Gluma[®]-4-Sealer bildete den Abschluß. Der Sealer wurde mit einem Pinsel auf alle präparierten Schmelz- und Dentinflächen dünn aufgetragen, der Überschuß mit Luftgebläse verteilt.

Das Aushärten erfolgte gemeinsam mit der ersten Schicht des Kompositmaterials Lumifor[®] Light Curing Composite¹⁶. Der Kunststoff wurde schichtweise aufgetragen und ausgehärtet. Ausarbeitung und Politur entsprachen exakt dem für alle verarbeiteten Füllungsmaterialien bereits beschriebenen Vorgehen (vgl. 2.1.3.1, 2.1.3.2 und 2.1.3.3.1).

2.2 Temperaturwechselbelastung

Zur Simulation klinischer Temperaturbeanspruchung wurden alle Proben einer thermischen Wechselbelastung unterzogen. Die durch ein Computerprogramm gesteuerte Hebevorrichtung des Thermocyclinggerätes²⁷ (Abb. 1) tauchte das Netz mit den Proben pro Zyklus in 2 Bäder. Die Tauchbäder enthielten auf 5°C beziehungsweise 55°C temperierte physiologische Kochsalzlösung. Die Verweildauer pro Bad betrug dabei 30 Sekunden, die Transferzeit 12 Sekunden. Es wurden 2000 Zyklen durchgeführt.

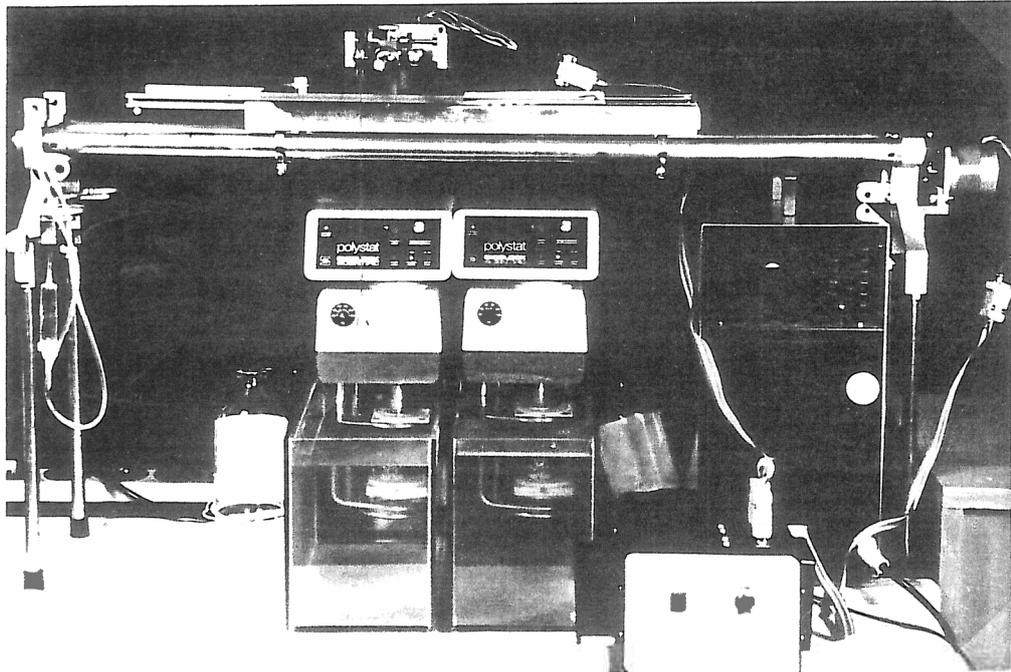


Abb. 1: Thermocyclinggerät

2.3 Replikaherstellung

Acht Wochen nach dem Legen der Füllungen und Lagerung in physiologischer Kochsalzlösung sowie unmittelbar nach der Temperaturwechselbelastung wurden Replikas der Proben angefertigt. Dabei diente ein dünnfließendes, additionsvernetzendes Abformmaterial (Permadyne[®] 18, Espe) zur exakten Wiedergabe der Füllungsoberfläche. Das Abdruckmaterial wurde mit dem dazugehörigen Dosierdispenser angemischt und auf den jeweiligen Zahn an der betreffenden Stelle gezielt aufgebracht, um Lufteinschlüsse zu vermeiden. Anschließend konnte der so vorbereitete Zahn in einen ebenfalls mit Abformmasse beschickten Metallzylinder (Durchmesser $d=2\text{cm}$) eingedrückt werden.

Der so gewonnene Abdruck wurde mit einem Epoxidharz¹ ausgegossen. Dazu mußte das Basismaterial mit der Härterflüssigkeit HR im Verhältnis 5 : 1 vermischt und zwei Minuten lang angerührt

werden. Vor dem Eingießen in die Abdruckform wurde das Material im Wasserbad auf 40°C erwärmt, um die Fließfähigkeit zu verbessern und somit die Gefahr von Lufteinschlüssen weiter zu reduzieren. Nach 24 Stunden war das Epoxidharz vollständig erhärtet.

Um die Replikas auf die Analyse im Rasterelektronenmikroskop vorzubereiten, erfolgte nun das Beschichten der Oberfläche mit Gold. Dieser Vorgang erfolgte bei folgenden Bedingungen im Sputtergerät SCD 040²⁵, Balzers Union.:

Pressure: 5×10^{-2} mBar

Timer: 150 s

Current/Voltage: 50 mA.

Es wurde eine mittlere Schichtdicke von 200 Angstrom erreicht.

2.4 Quantitative Randanalyse am Rasterelektronenmikroskop

Die Auswertung der Füllungsänder erfolgte bei 200-facher Vergrößerung am Rasterelektronenmikroskop (REM) ISI-SR-50¹¹. Die Kriterien für die Beurteilung der Randqualität wurden folgendermaßen definiert:

- A: perfekter Rand
- B: positive Stufe, Materialüberschuß
- C: negative Stufe
- D: Spalt
- E: Fraktur/Riß innerhalb der Zahnhartsubstanz
- F: Fraktur/Riß innerhalb des Füllungsmaterials
- G: nicht beurteilbar, Artefakt

In den Abbildungen 2 bis 7 sind Beispiele für die einzelnen Randqualitäten dargestellt.

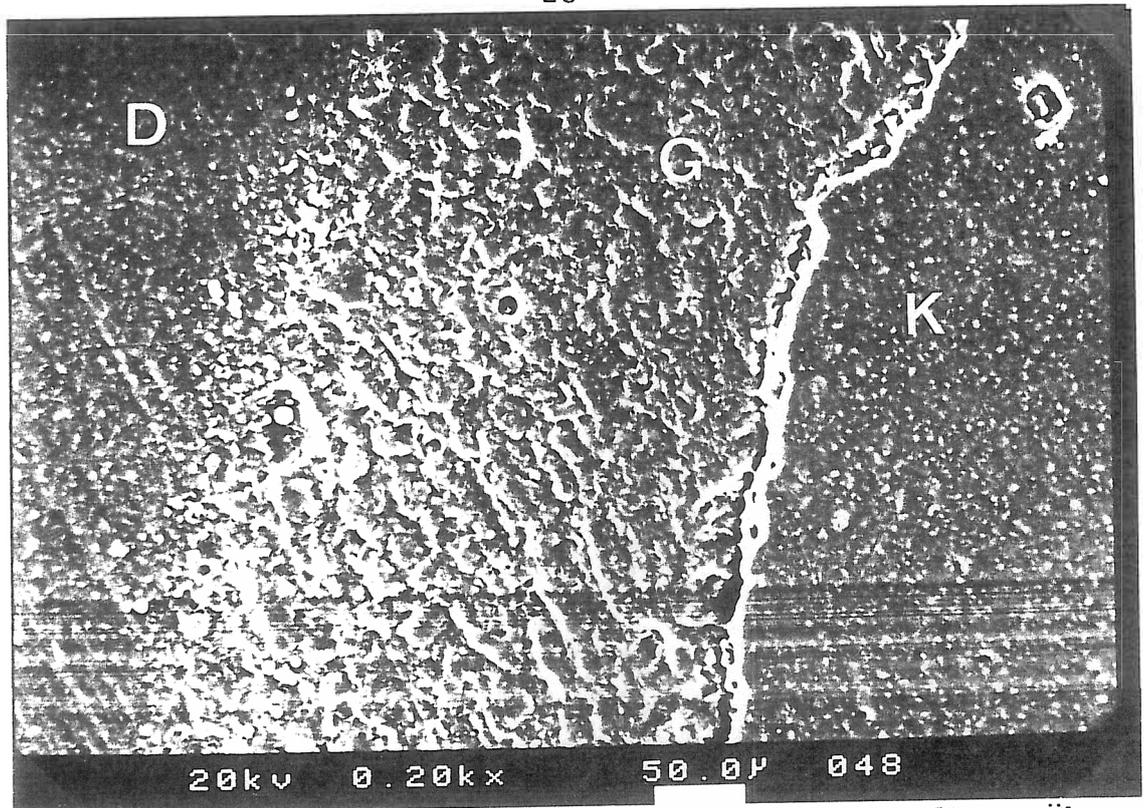


Abb. 2: Beispiel für das Kriterium "perfekter Rand" am Übergang zwischen Glasionomerzement (G) und Dentin (D). Der Grenzbereich zwischen Komposit (K) und Glasionomerzement weist im oberen Bildabschnitt ein Beispiel für die Bewertung "positive Stufe" auf.

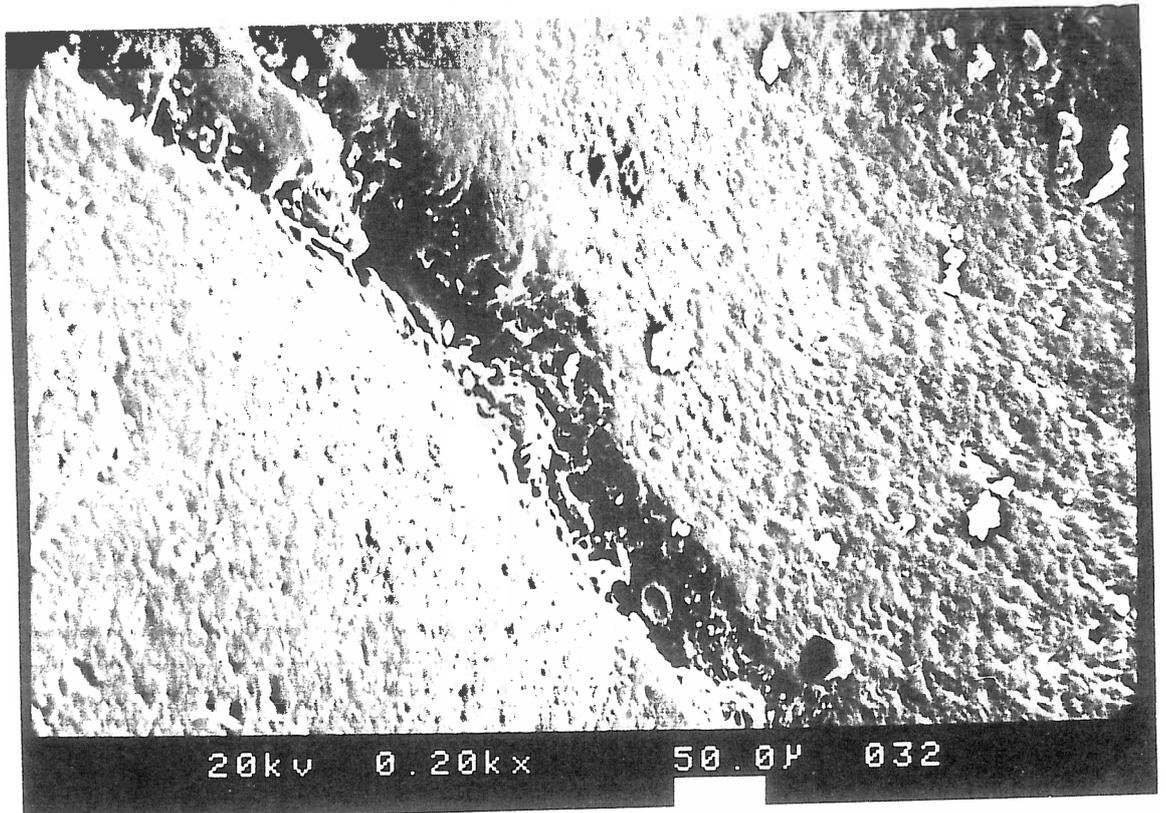


Abb. 3: Beispiel für das Kriterium "negative Stufe".

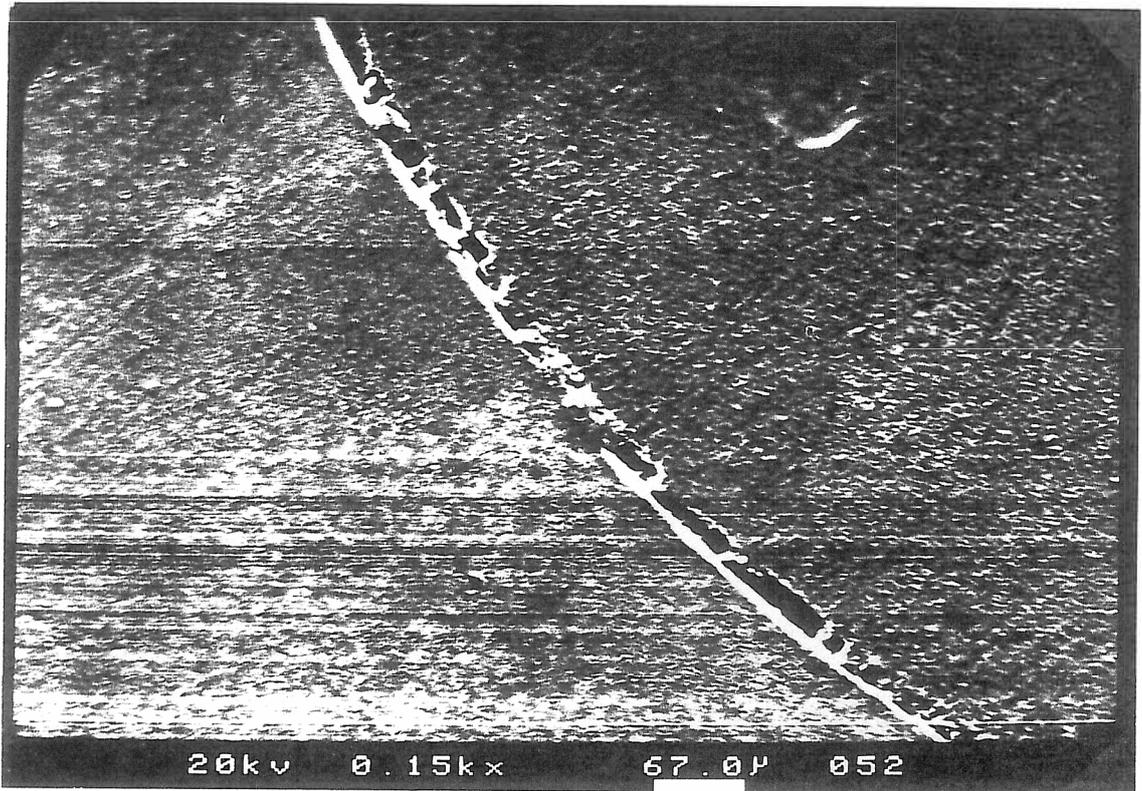


Abb. 4: Beispiel für das Kriterium "Spalt".

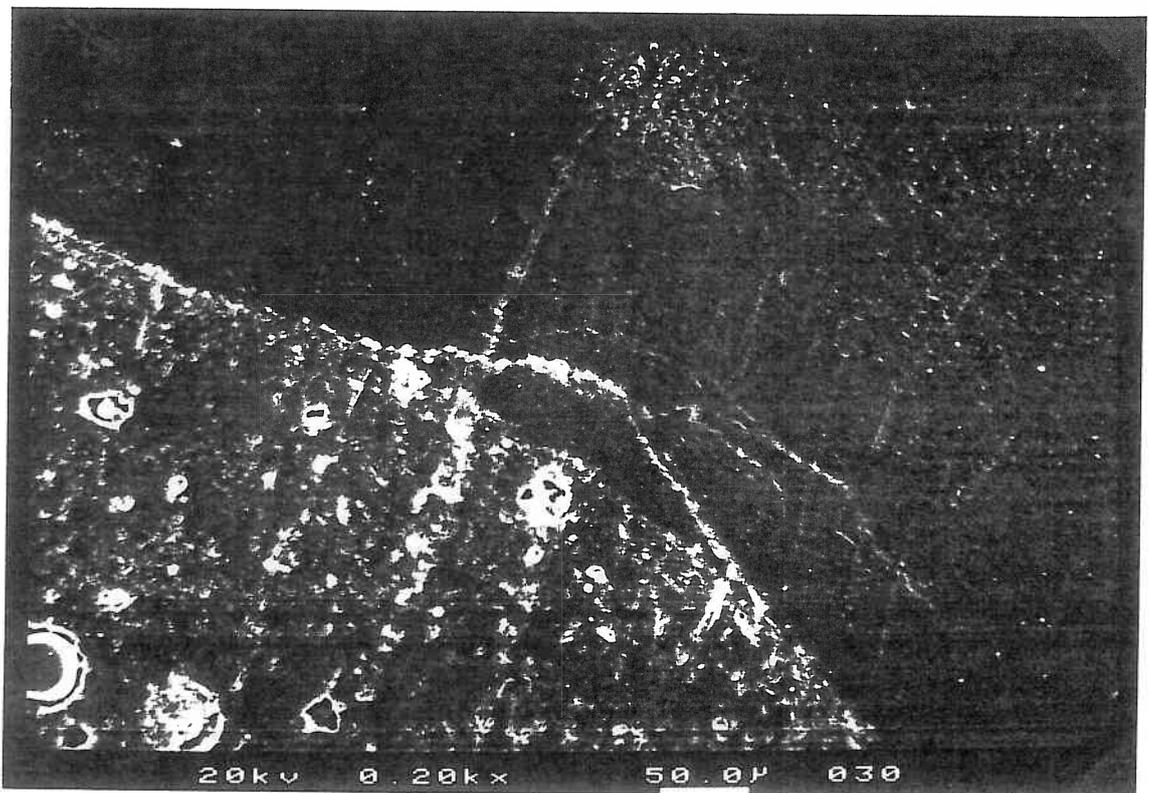


Abb. 5: Beispiel für das Kriterium "Fraktur/Riß innerhalb der Zahnhartsubstanz".

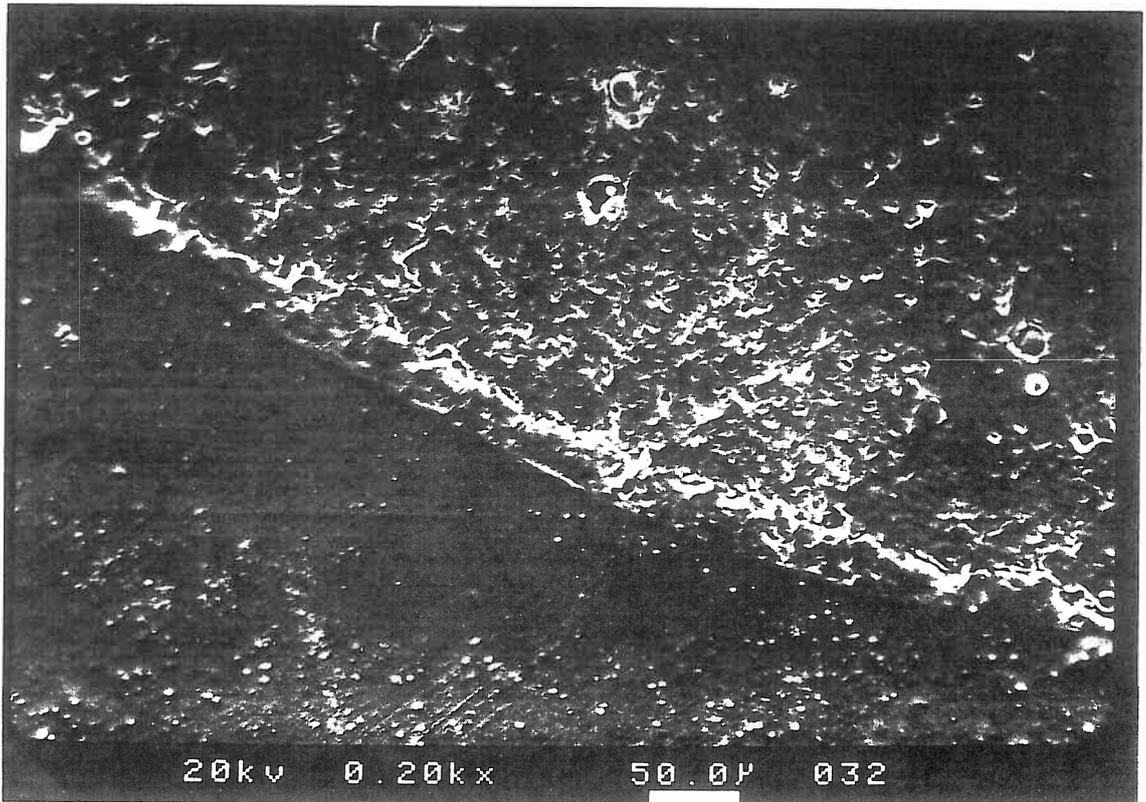


Abb. 6: Beispiel für Kriterium "F".

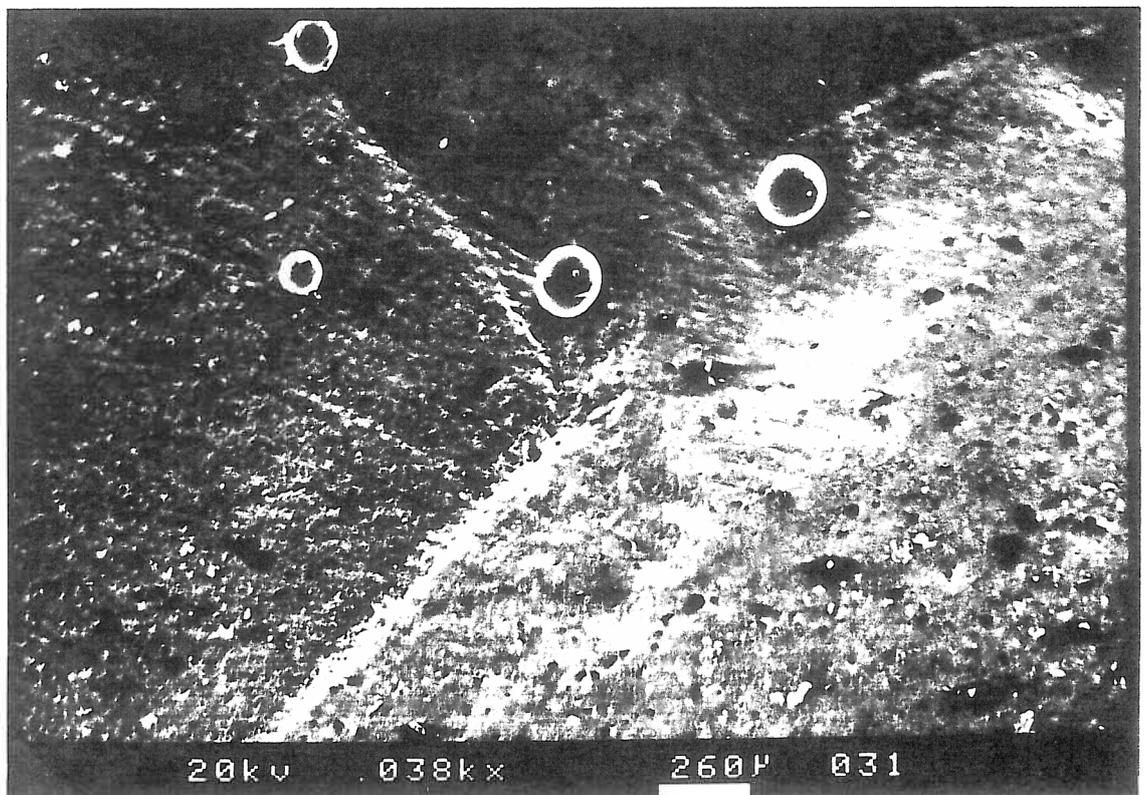


Abb. 7: Luftblasen als Beispiel für Kriterium "G".

Jedes auf dem REM-Monitor dargestellte Einzelbild konnte im Zuge eines vom Programm Quanti-Gap²⁰ initiierten Digitalisierungsvorganges auf den Bildschirm des PC³ übertragen werden. Bei Quanti-Gap handelt es sich um ein Computerprogramm zur qualitativen und quantitativen Analyse von Füllungsrandern. Mit diesem Verfahren ist es möglich, den gesamten Rand einer Füllung als Serie von Einzelbildern auf den Computerbildschirm zu transferieren und dort weiter zu analysieren (Abb. 8).

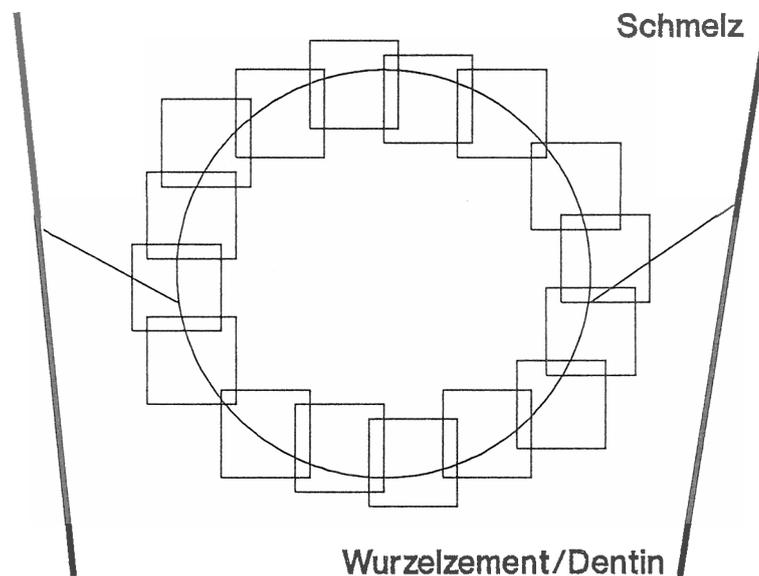


Abb. 8: Schematische Darstellung der im REM untersuchten Segmente der Füllungsrande.

Zur Auswertung diente der im Programm enthaltene Längenmodus, die zusätzlich installierten Breiten- und Flächenmodi kamen in dieser Studie nicht zur Anwendung und werden daher in diesem Zusammenhang nicht näher besprochen.

Wurde ein REM-Bild auf den PC-Bildschirm übertragen, so konnte man - nach Aktivierung des Längenmodus- das abgebildete Randsegment mit einer Linie nachziehen. Eine Änderung der Bewer-

tungskriterien A-G war an jeder Stelle des Randabschnittes möglich, so daß jeder beliebige Bereich des abgebildeten Füllungsrandes einem bestimmten Kriterium zugeordnet werden konnte (Abb. 9).

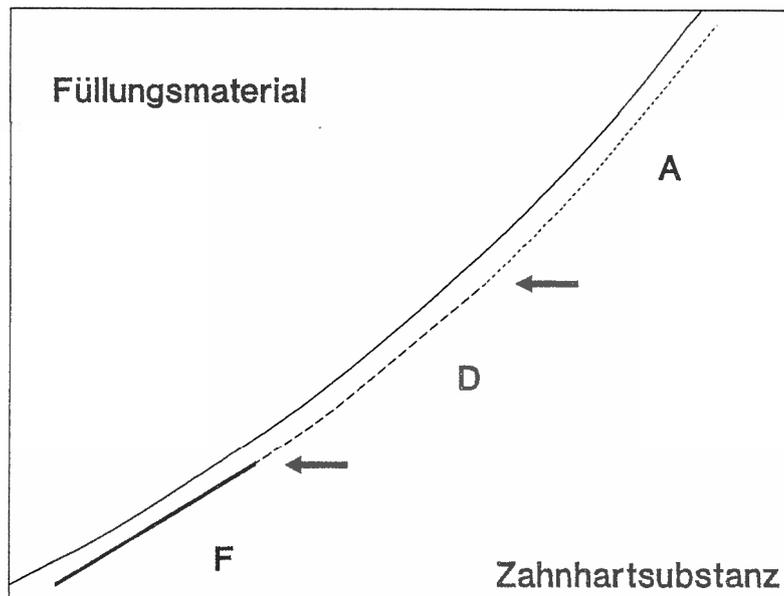


Abb. 9: Schematische Darstellung der Auswertung eines Randsegmentes. An den mit Pfeilen gekennzeichneten Stellen wurde hier das Kriterium von A auf D bzw. von D auf F geändert.

Die Länge aller Einzelbewertungen wurde von Quanti-Gap während des Meßvorganges aufsummiert und in ihrem prozentualen Anteil am Gesamtfüllungsrand in einer Datei abgespeichert. Darüberhinaus erlaubte es Quanti-Gap in unterschiedlichen Zahnhartsubstanzen verankerte Füllungsanteile mit separaten Linienzügen nachzuzeichnen, so daß die Daten für den schmelzbegrenzten Rand in einer Kurve 1 und die für den im Wurzelzement/Dentin gelegenen Rand in einer Kurve 2 separat erfaßt und abgespeichert wurden. Bei Füllungen nach der Sandwichtechnik kam für den Übergang GIZ/Komposit eine zusätzliche Kurve 3 zur Anwendung (siehe Abb. 10).

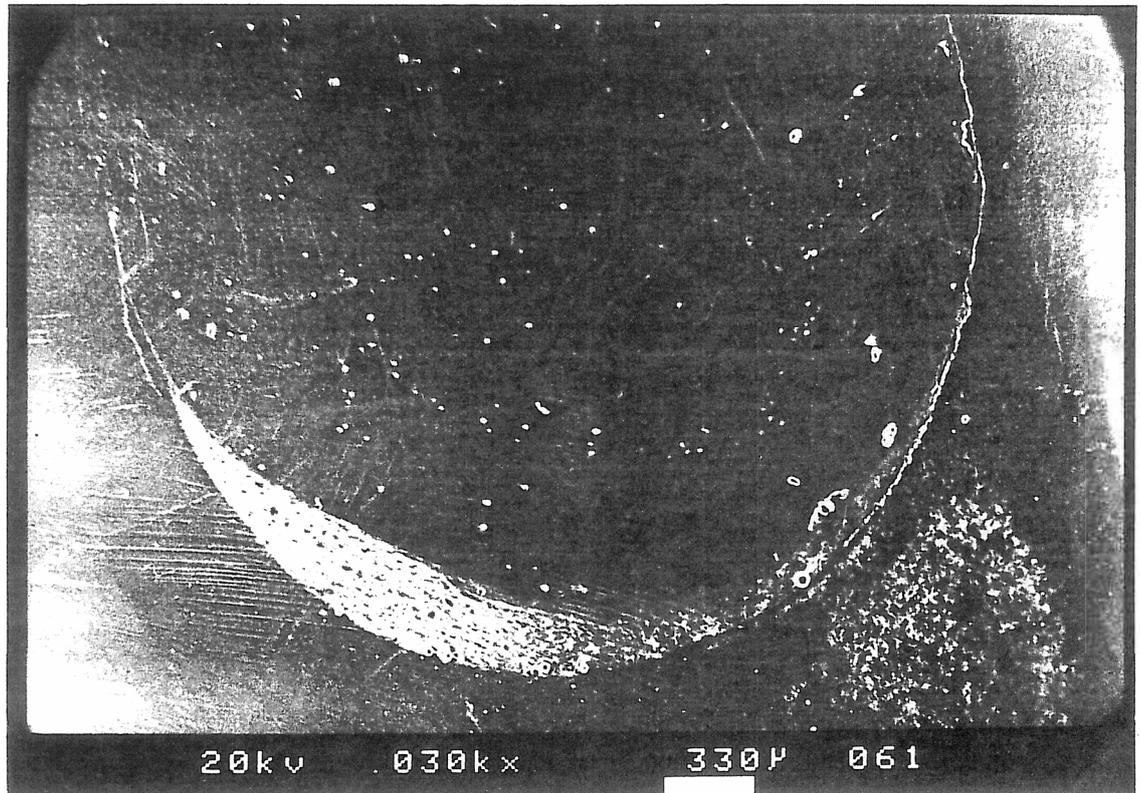


Abb. 10: Zervikaler Abschnitt einer Sandwichfüllung.

Nach Abschluß der Messung konnte jede Datei über einen Editor eingesehen werden, mit dessen Hilfe eine übersichtliche Darstellung der prozentualen Anteile der Einzelkriterien am Gesamtfüllungsrand getrennt für Kurve 1, Kurve 2 und Kurve 3 möglich war. Tabelle 2 zeigt ein Beispiel für eine Meßdatei.

Kurve 1	A	B	C	D	E	F	G
%	81.89	8.09	1.67	1.59	0.51	4.15	2.10
Kurve 2	A	B	C	D	E	F	G
%	68.50	5.07	0.00	18.89	1.54	4.04	1.96

Tabelle 2: Beispiel für die prozentuale Darstellung der Randkriterien in einer Datei.

Die Auswertung der Daten erfolgte mit Hilfe des Statistikprogrammes SPSS/PC+²⁴. Die Berechnung der Resultate vor und nach thermischer Belastung wurde gesondert für die Kurven 1, 2 und

3 mit der einfachen Varianzanalyse und dem Kruskal-Wallis-Test vorgenommen. Die Prozentsätze für das Kriterium "Spalt" vor und nach Temperaturwechselbelastung wurden für alle Ränder mit dem gepaarten T-Test auf Signifikanz geprüft.

3 Ergebnisse

3.1 Rand im koronalen Füllungsabschnitt

Die Randqualität im schmelzbegrenzten Abschnitt der Füllungen ist in der vorliegenden Arbeit nur sekundär von Interesse (siehe 1.3), da die gute Verankerung von Kompositmaterialien im Schmelz bekannt ist.

Deshalb und aus Gründen der Übersichtlichkeit sollen an dieser Stelle lediglich die Resultate für die Kriterien "perfekter Rand" ("A") und "Spalt" ("D") wiedergegeben werden. Die vollständige Auflistung der Ergebnisse für alle Kriterien kann im Anhang den Tabellen 21 bis 30 entnommen werden.

Vor TWB war der Anteil an Kriterium "A" ("perfekter Rand") bei den nach der Schmelz-Ätz-Technik gelegten Serien 6- 10 signifikant höher als in den Gruppen mit Ketac^R-Silver und Chemfil^R II. Außerdem zeigten die Serien 7 und 9 auch gegenüber Ketac^R-Fil signifikant höhere Anteile perfekten Randes. Darüberhinaus wies das Material Ketac^R-Silver einen signifikant geringeren Anteil perfekter Randabschnitte auf als alle Gruppen von Glasionerzementfüllungen mit Ketac^R-Fil, unabhängig von deren Vorbehandlung.

Entsprechende signifikante Unterschiede für das Kriterium "D" ("Spalt") konnten unter den Ergebnissen vor TWB nicht gefunden werden.

Nach der TWB zeigte sich im Hinblick auf die Anteile perfekten Randes erwartungsgemäß die Überlegenheit der nach der Schmelz-Ätz-Technik verarbeiteten Füllungsrande, da diese Materialien durch die thermische Belastung praktisch keine Verschlechterung der Randqualität erfuhren. Lediglich der Unterschied zwischen den Materialien der Serien 6, 9 und 10 und der mit Ketac[®] Conditioner vorbehandelten Gruppe mit Ketac[®]-Fil (Serie 2) sowie der Vergleich zwischen Gluma[®] und Serie 3 blieben aufgrund der hohen Standardabweichung der Gruppen 2 und 3 unterhalb des Signifikanzniveaus ($p=0.05$). Der Vergleich der Mittelwerte zeigte jedoch auch hier das tendentiell bessere Ergebnis der Gruppen 6, 9 und 10.

Die Materialien Ketac[®]-Silver und Chemfil[®] II wiesen nach TWB einen deutlich niedrigeren Anteil perfekter Randabschnitte auf als alle mit dem GIZ Ketac[®]-Fil verarbeiteten Serien von Füllungen, wobei sich dieser Unterschied in 5 von 6 Paarvergleichen als signifikant darstellte.

Weniger deutlich zeigten sich diese Unterschiede bezüglich des Kriteriums "D" ("Spalt"). Für Ketac[®]-Silver konnte ein gegenüber allen anderen Materialien signifikant höherer Anteil von Randabschnitten, die einen Spalt aufwiesen, gefunden werden. Ein signifikanter Unterschied stellte sich außerdem zu Ungunsten des Materials Chemfil[®] II gegenüber der Serie 8 (Sandwichtechnik mit Verwendung des Ketac[®] Conditioners) ein.

Nachfolgend sind diese Ergebnisse graphisch und tabellarisch dargestellt. Die Mittelwerte für die Kriterien "A" und "D" vor und nach TWB zeigen die Abbildungen 11 und 12. Die dazugehörigen Standardabweichungen sowie signifikante Paarunterschiede sind in den Tabellen 3-5 aufgeführt.

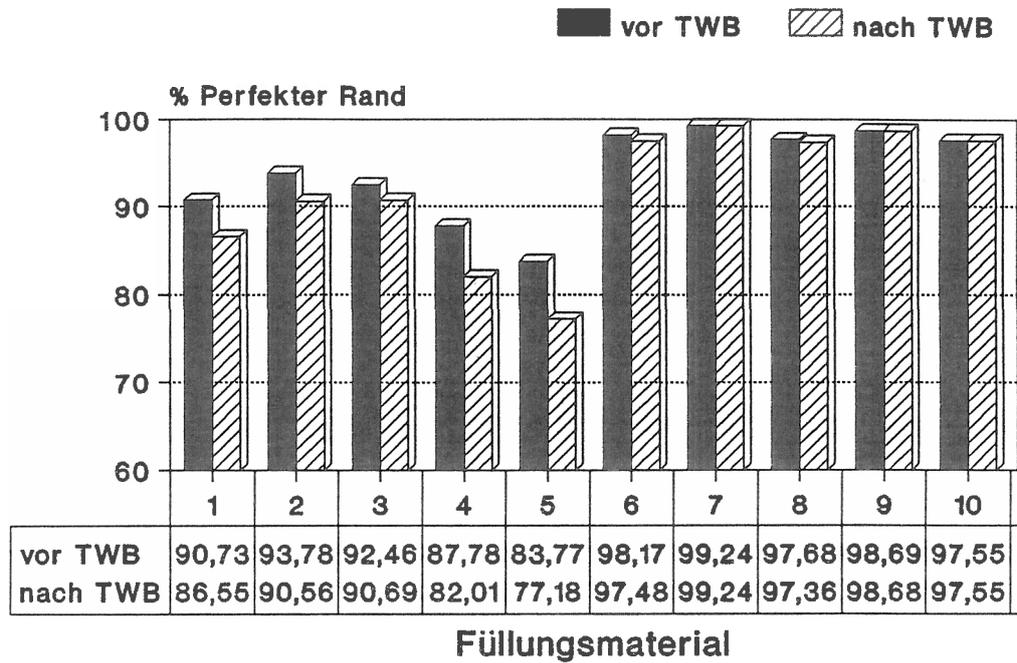


Abb. 11: Schmelzbegrenzte Füllungsabschnitte. Mittelwerte für die Anteile mit "perfektem Rand" in Prozent vor und nach TWB.

SE	SD	Gruppe	5	4	1	3	2	0	8	6	9	7
2.7586	8.7234	Grp 5										
2.5557	8.0819	Grp 4										
1.8435	6.1141	Grp 1	*									
2.2709	7.1812	Grp 3	*									
2.4523	7.7548	Grp 2	*									
1.3288	4.2019	Grp10	*	*								
1.1975	3.7812	Grp 8	*	*								
1.0753	3.4003	Grp 6	*	*								
1.3200	4.1742	Grp 9	*	*	*							
.7600	2.4033	Grp 7	*	*	*							

Tab. 3: Schmelzbegrenzte Füllungsanteile mit "Perfektem Rand". Standardfehler (SE), Standardabweichung (SD) und Signifikanzunterschiede (*) für p=0.05 vor TWB.

SE	SD	Gruppe	5	4	1	2	3	8	6	0	9	7
2.3455	7.4171	Grp 5										
2.0415	6.4559	Grp 4										
3.1497	10.4665	Grp 1	*									
2.4405	6.9626	Grp 2	*	*								
2.2018	7.7176	Grp 3	*	*								
1.3288	4.2948	Grp 8	*	*	*	*	*					
1.3581	4.1654	Grp 6	*	*	*		*					
1.3172	4.2019	Grp10	*	*	*							
1.3100	4.1426	Grp 9	*	*	*		*					
.7600	2.4033	Grp 7	*	*	*	*	*					

Tab. 4: Schmelzbegrenzte Füllungsanteile mit "perfektem Rand". Standardfehler (SE), Standardabweichung (SD) und Signifikanzunterschiede (*) für $p=0.05$ nach TWB.

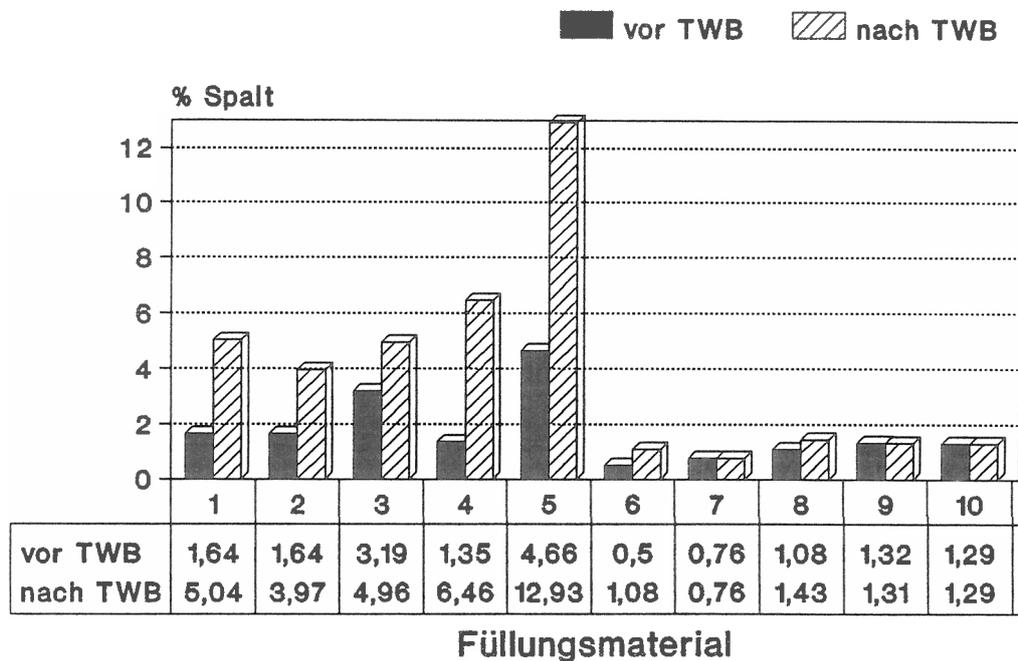


Abb. 12: Schmelzbegrenzte Füllungsabschnitte. Mittelwerte für die Anteile mit "Spalt" in Prozent vor und nach TWB.

SE	SD	Gruppe	1																	
			7	6	0	9	8	2	3	1	4	5								
.7600	2.4033	Grp 7																		
.6723	2.1259	Grp 6																		
1.1332	3.5834	Grp10																		
1.3100	4.1426	Grp 9																		
.9536	3.0155	Grp 8																		
1.6997	5.3748	Grp 2																		
1.2210	3.8613	Grp 3																		
1.7064	5.6594	Grp 1																		
1.2377	3.9138	Grp 4																		*
1.4178	4.4834	Grp 5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Tab. 5: Schmelzbegrenzte Füllungsanteile mit "Spalt". Standardfehler (SE), Standardabweichung (SD) und Signifikanzunterschiede (*) für $p=0.05$ nach TWB.

3.2 Rand im Wurzelzement/Dentin

3.2.1 Varianzanalyse

Die Ergebnisse der einfachen Varianzanalyse zeigten hinsichtlich der Anteile mit perfektem Rand für Serie 2 (Ketac[®]-Fil mit Conditioner) gegenüber Chemfil[®] II und Ketac[®]-Silver signifikant höhere Werte. Die Serie 9 (Sandwichtechnik mit Beteiligung von Ketac[®]-Silver) wies gegenüber Chemfil[®] II ebenfalls signifikant höhere Werte auf.

Nach TWB verblieben für Kriterium "A" noch zwei der oben beschriebenen signifikanten Unterschiede: Serie 2 und 9 wiesen größere Anteile mit perfektem Rand auf als Serie 4 (Chemfil[®] II).

Die Auswertung für das Kriterium "D" ("Spalt") ergab vor TWB bei zwei der GIZ-Serien mit Ketac[®]-Fil (Serie 1 und 2) einen signifikant geringeren Anteil als bei Chemfil[®] II (Serie 4). Nach TWB ergaben sich keine signifikanten Paarunterschiede mehr.

Die Mittelwerte der einzelnen Kriterien für den zervikalen Füllungsrand sind in den folgenden Abbildungen (Abb. 13-19) graphisch dargestellt. Standardabweichungen und signifikante Paarunterschiede aus der einfachen Varianzanalyse sind, ergänzend zu den Abbildungen, in den Tabellen 6-15 aufgeführt.

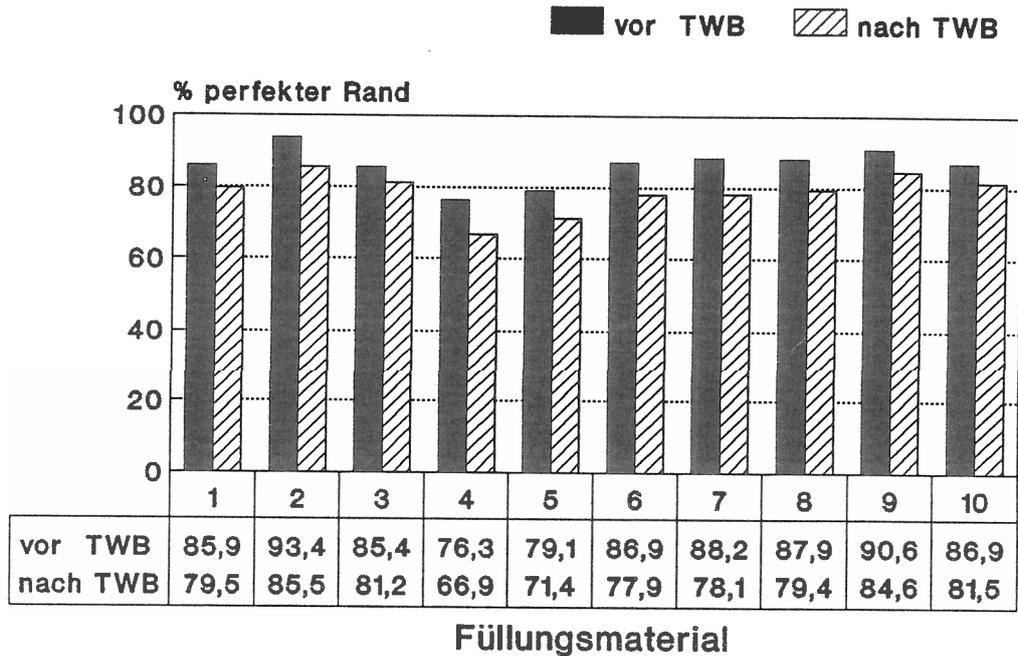


Abb. 13: Dentinbegrenzter Füllungsrand. Mittelwerte der Anteile mit "perfektem Rand" in Prozent vor und nach TWB.

SE	SD	Gruppe	4	5	3	1	0	6	8	7	9	2
3.3395	10.5605	Grp 4										
2.4338	7.6964	Grp 5										
5.4074	17.0999	Grp 3										
2.9428	9.7603	Grp 1										
3.3849	10.7041	Grp10										
1.7799	5.6286	Grp 6										
3.1271	9.8886	Grp 8										
2.3686	7.4900	Grp 7										
2.5690	8.1240	Grp 9							*			
2.1443	6.7809	Grp 2							*	*		

Tab. 6: Dentinbegrenzte Füllungsanteile mit "perfektem Rand". Standardfehler (SE), Standardabweichung (SD) und Signifikanzunterschiede (*) für p=0.05 vor TWB.

SE	SD	Gruppe	4	5	6	7	8	1	3	0	9	2
5.0945	16.1103	Grp 4										
3.2845	10.3866	Grp 5										
1.7394	5.5006	Grp 6										
1.5097	4.7740	Grp 7										
4.7508	15.0235	Grp 8										
2.9328	9.7269	Grp 1										
5.0453	15.9546	Grp 3										
4.8114	15.2150	Grp10										
2.9639	9.3726	Grp 9									*	
2.9737	9.4037	Grp 2									*	

Tab. 7: Dentinbegrenzte Füllungsanteile mit "perfektem Rand". Standardfehler (SE), Standardabweichung (SD) und Signifikanzunterschiede (*) für p=0.05 nach TWB.

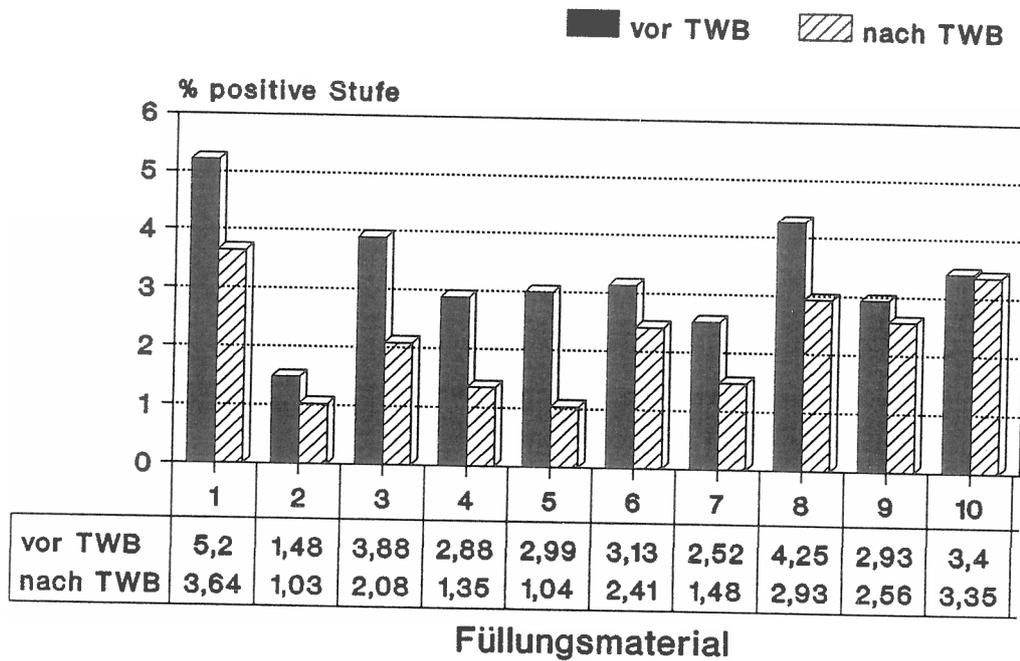


Abb. 14: Dentinbegrenzter Füllungsrand. Mittelwerte der Anteile mit "positiver Stufe" in Prozent vor und nach TWB.

Gruppe	Standardabweichung		Standardfehler	
	vor TWB	nach TWB	vor TWB	nach TWB
Grp 1	2.9455	2.9730	.8881	.8964
Grp 2	2.3437	2.1726	1.1609	.6067
Grp 3	5.5136	3.6328	1.1846	.5978
Grp 4	3.7460	1.8905	.7411	.6870
Grp 5	3.6710	1.9184	1.7435	1.1488
Grp 6	2.9785	3.0249	.9419	.9566
Grp 7	2.6486	2.4207	.8376	.7655
Grp 8	7.3669	5.9779	2.3296	1.8904
Grp 9	5.2572	5.0799	1.6625	1.6064
Grp10	10.2020	10.1113	3.2261	3.1975

Tab. 8: Dentinbegrenzte Füllungsanteile mit "positiver Stufe". Standardabweichung und Standardfehler vor und nach TWB. Keine signifikanten Unterschiede für $p=0.05$.

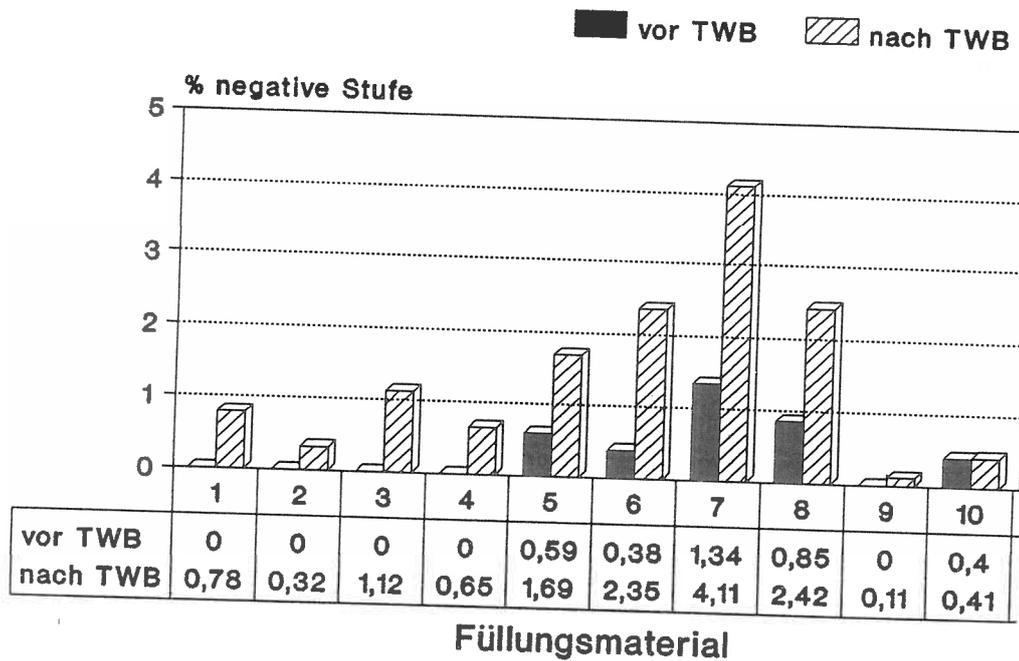


Abb. 15: Dentinbegrenzter Füllungsrand. Mittelwerte der Anteile mit "negativer Stufe" vor und nach TWB.

SE	SD	Gruppe	1	2	3	4	9	6	0	5	8	7
.0000	.0000	Grp 1										
.4051	.0000	Grp 2										
.0000	.0000	Grp 3										
.0000	.0000	Grp 4										
.0000	.0000	Grp 9										
.2573	.8135	Grp 6										
.4000	1.2649	Grp10										
.0000	1.2810	Grp 5										
.3959	1.2519	Grp 8										
.4778	1.5108	Grp 7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Tab. 9: Dentinbegrenzte Füllungsanteile mit "negativer Stufe". Standardfehler (SE), Standardabweichung (SD) und Signifikanzunterschiede (*) für $p=0.05$ vor TWB.

SE	SD	Gruppe	9	2	0	4	1	3	5	6	8	7
.1100	.3479	Grp 9										
.7952	.5350	Grp 2										
.4100	1.2965	Grp10										
.1692	.9217	Grp 4										
.3036	1.0068	Grp 1										
.2915	1.6505	Grp 3										
.5219	2.5146	Grp 5										
.6650	2.1030	Grp 6										
.7652	2.4197	Grp 8										
.8420	2.6627	Grp 7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Tab. 10: Dentinbegrenzte Füllungsanteile mit "negativer Stufe". Standardfehler (SE), Standardabweichung (SD) und Signifikanzunterschiede (*) für $p=0.05$ nach TWB.

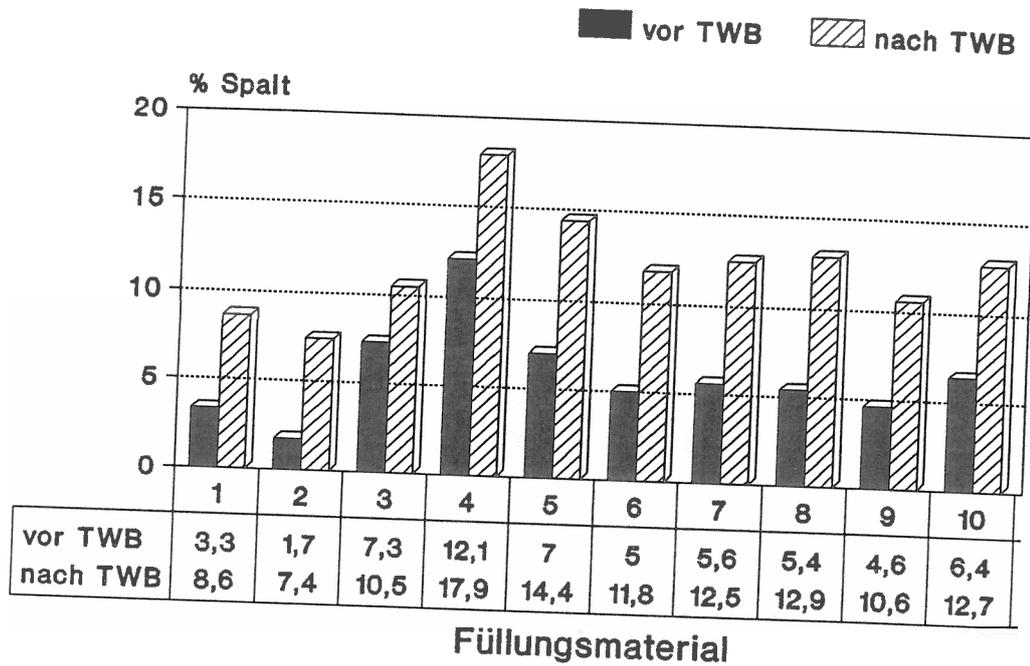


Abb. 16: Dentinbegrenzter Füllungsrand. Mittelwerte der Anteile mit "Spalt" in Prozent vor und nach TWB.

Standardabweichung

vor TWB	nach TWB	Gruppe	2	1	9	6	8	7	0	5	3	4
2.0738	5.7702	Grp 2										
5.2864	4.4697	Grp 1										
3.4767	11.4706	Grp 9										
2.9721	10.7656	Grp 6										
5.0876	6.0515	Grp 8										
5.1321	3.0081	Grp 7										
7.0829	6.6173	Grp10										
6.3833	9.3079	Grp 5										
9.7394	8.3477	Grp 3										
9.2637	11.1670	Grp 4										

Tab. 11: Dentinbegrenzte Füllunganteile mit "Spalt". Standardabweichung vor und nach TWB. * = Unterschied signifikant für p=0.05 vor TWB, nach TWB keine signifikanten Unterschiede.

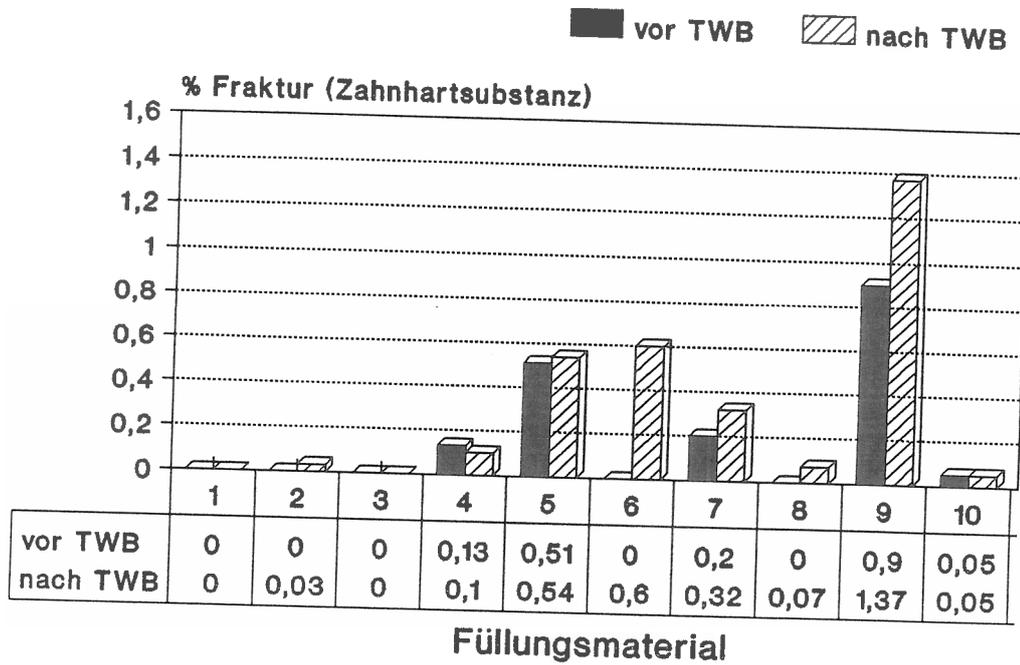


Abb. 17: Dentinbegrenzter Füllungsrand. Mittelwerte der Anteile mit "Fraktur innerhalb der Zahnhartsubstanz" in Prozent vor und nach TWB.

Standardabweichung

vor TWB	nach TWB	Gruppe	1	3	2	0	8	4	7	5	6	9
.0000	.0000	Grp 1										
.0000	.0000	Grp 3										
.0000	.0949	Grp 2										
.1581	.1581	Grp10										
.0000	.2214	Grp 8										
.4111	.3162	Grp 4										
.6325	.7005	Grp 7										
1.3000	.9228	Grp 5										
.0000	.8179	Grp 6										
2.0248	2.3171	Grp 9										

* * * * *

Tab. 12: Dentinbegrenzter Füllunganteile mit "Fraktur innerhalb der Zahnhartsubstanz". Standardabweichung vor und nach TWB. * = Unterschied signifikant für p=0.05 nach TWB, vor TWB keine signifikanten Unterschiede.

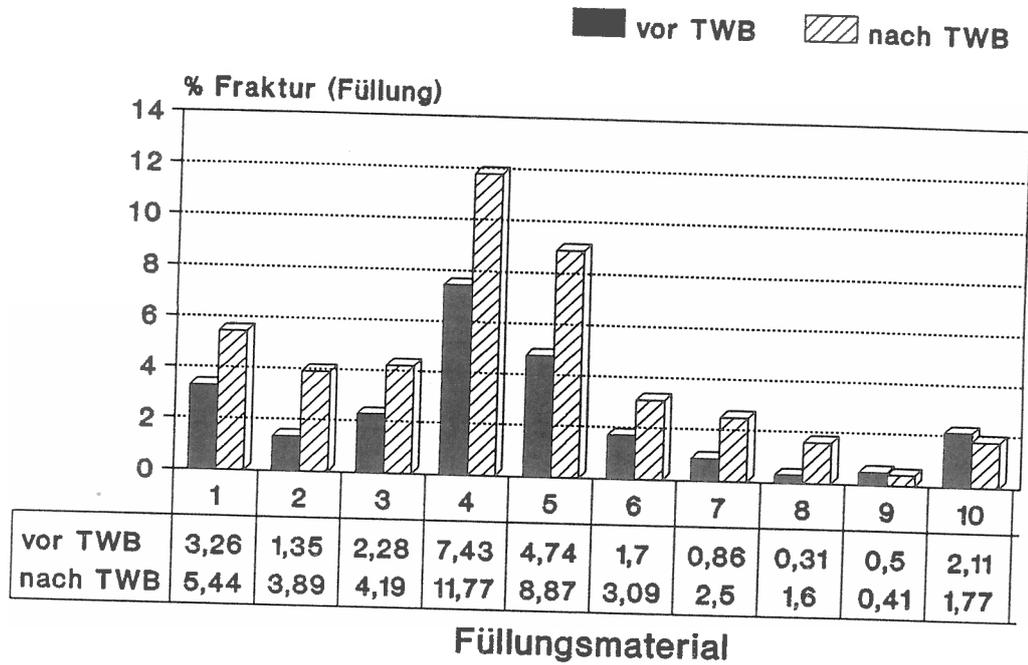


Abb. 18: Dentinbegrenzter Füllungsrand. Mittelwerte der Anteile mit "Fraktur innerhalb der Füllung" in Prozent vor und nach TWB.

SE	SD	Gruppe	8	9	7	2	6	0	3	1	5	4
.1798	.5685	Grp 8										
.3798	1.2009	Grp 9										
.3845	1.2158	Grp 7										
.7108	2.2476	Grp 2										
.5558	1.7575	Grp 6										
1.4489	4.5817	Grp10										
1.1798	3.7309	Grp 3										
1.5174	5.0327	Grp 1										
1.5531	4.9113	Grp 5										
1.6894	5.3425	Grp 4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Tab. 13: Dentinbegrenzte Füllungsanteile mit "Fraktur innerhalb der Füllung". Standardfehler (SE), Standardabweichung (SD) und Signifikanzunterschiede (*) für p=0.05 vor TWB.

SE	SD	Gruppe	1																	
			9	8	0	7	6	2	3	1	5	4								
.2881	.9110	Grp 9																		
.6052	1.9137	Grp 8																		
.9869	3.1209	Grp10																		
.7193	2.2745	Grp 7																		
.9090	2.8746	Grp 6																		
1.6487	5.2138	Grp 2																		
1.0272	3.2484	Grp 3																		
1.1155	3.6998	Grp 1																		
2.5264	7.9890	Grp 5				*	*	*	*	*										
2.6487	8.3760	Grp 4				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Tab. 14: Dentinbegrenzte Füllungsanteile mit "Fraktur innerhalb der Füllung". Standardfehler (SE), Standardabweichung (SD) und Signifikanzunterschiede (*) für p=0.05 nach TWB.

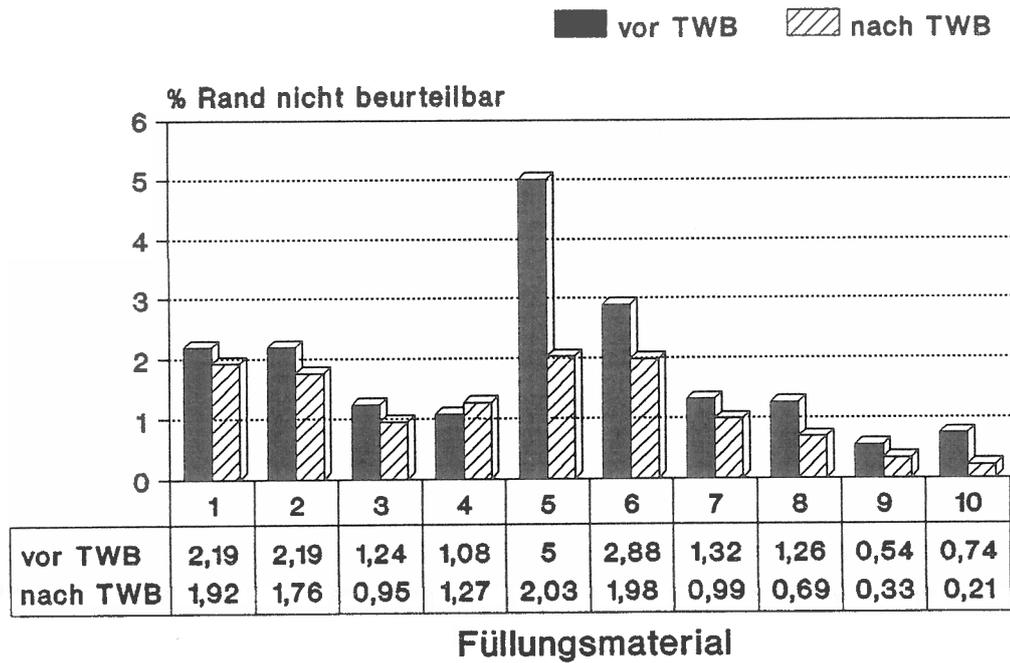


Abb. 19: Dentinbegrenzter Füllungsrand. Mittelwerte der Anteile "nicht beurteilbar" in Prozent vor und nach TWB.

Standardabweichung		Gruppe	1									
vor TWB	nach TWB		9	0	4	3	8	7	2	1	6	5
.9192	.9429	Grp 9										
.7891	.3315	Grp10										
2.2677	1.1617	Grp 4										
1.2309	1.1595	Grp 3										
2.0134	1.3470	Grp 8										
1.3935	1.3136	Grp 7										
3.2552	1.6568	Grp 2										
2.8641	2.3409	Grp 1										
2.9446	2.6076	Grp 6										
5.2747	1.8282	Grp 5	*	*	*	*	*	*	*		*	

Tab. 15: Dentinbegrenzte Füllunganteile mit "Rand nicht beurteilbar". Standardabweichung vor und nach TWB. * = Unterschied signifikant vor TWB, nach TWB keine signifikanten Unterschiede (p=0.05).

3.2.2 T-Test

Die Resultate aus dem alleine für das Kriterium "Spalt" ("D") vorgenommenen gepaarten T-Test sind im Anhang aus Tabelle 32 zu entnehmen. Vor TWB bestätigte sich das relativ schlechte Ergebnis des Materials Chemfil[®] II, das sich gegenüber 2 Gruppen mit Ketac[®]-Fil (Serie 1 und 2), gegenüber einer Serie mit Sandwichfüllungen (Serie 6) sowie im Vergleich zu dem Dentinadhäsiv Scotchbond[®] 2 signifikant abgrenzte.

Außerdem fiel vor TWB das geringere Auftreten von Spalten in der Gruppe 2 (Ketac[®]-Fil mit Ketac[®] Conditioner) auf. Hier lagen signifikante Unterschiede gegenüber Ketac[®]-Silver, Chemfil[®] II, zwei Serien mit Sandwichfüllungen sowie gegenüber Scotchbond[®] 2 vor. Aufgrund der hohen Standardabweichungen in den Gruppen 3 (Ketac[®]-Fil mit Gerbsäurevorbehandlung) und 10 (Gluma[®]) stellten sich für diese Serien die Unterschiede nicht als signifikant dar, obwohl der Vergleich der Mittelwerte mit 7,3% beziehungsweise 6,4% eine höhere Zahl als "Spalt" erkannter Randanteile auswies als der Vergleichswert für Scotchbond[®] 2 (4,6%).

Generell ließen die hohen Standardabweichungen innerhalb der Gruppen 3 und 10, ähnlich den Ergebnissen der einfachen Varianzanalyse (siehe 3.2.1), keine signifikante Abgrenzung gegenüber den übrigen Materialien zu.

Nach der Temperaturwechselbelastung ergaben sich für Chemfil[®] II und Ketac[®]-Silver signifikant höhere Anteile als "Spalt" erkannter Randabschnitte als für zwei der Serien von GIZ-Füllungen mit Ketac[®]-Fil (mit und ohne Vorbehandlung durch Ketac[®] Conditioner).

3.3 Übergang Komposit/Glasionomierzement

Die mit Hilfe der einfachen Varianzanalyse ermittelten Ergebnisse für den nur bei Sandwichfüllungen vorhandenen Übergang GIZ/Komposit sind in den Abbildungen 20-22 sowie in den Tabellen 16-20 dargestellt.

Für die Serien 6 und 8 zeigte sich vor und nach thermischer Belastung ein gegenüber der Serie 7 signifikant höherer Anteil von Abschnitten mit perfektem Übergang. Die Serie 7 (GIZ-Unterfüllung nicht angeätzt) wies vor TWB darüberhinaus einen im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen signifikant höheren Anteil von Übergängen mit positiver Stufe (Kriterium "B") auf. Nach TWB hingegen war in dieser Serie ein signifikant höherer Wert für das Kriterium "D" ("Spalt") zu verzeichnen. Letzteres wird auch bestätigt durch den für Kriterium "D" durchgeführten gepaarten T-Test (siehe 7.4)

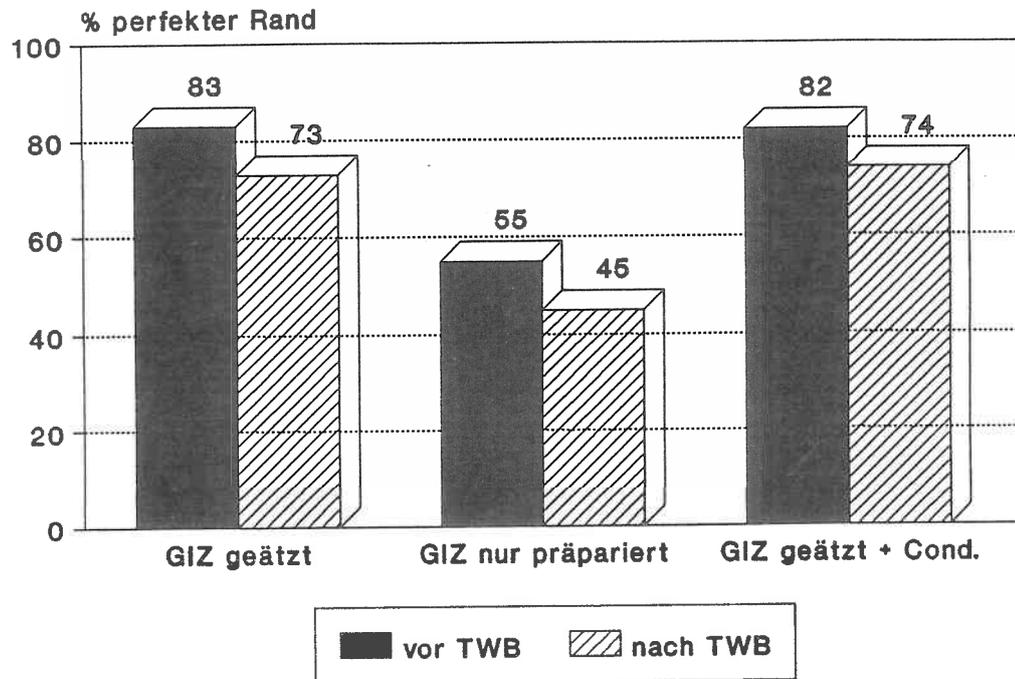


Abb. 20: Sandwichtechnik: Übergang GIZ-Komposit. Mittelwerte der Anteile mit "perfektem Rand" vor und nach TWB.

SD	Gruppe	7	8	6	SD	Gruppe	7	8	6
23.9988	Grp 7				23.9479	Grp 7			
13.3006	Grp 8	*			18.2407	Grp 8		*	
13.8968	Grp 6	*			12.3356	Grp 6		*	
vor TWB					nach TWB				

Tab. 16: Übergang GIZ-Komposit mit "perfektem Rand". Standardabweichung (SD) und Signifikanzunterschiede (*) für $p=0.05$ vor und nach TWB.

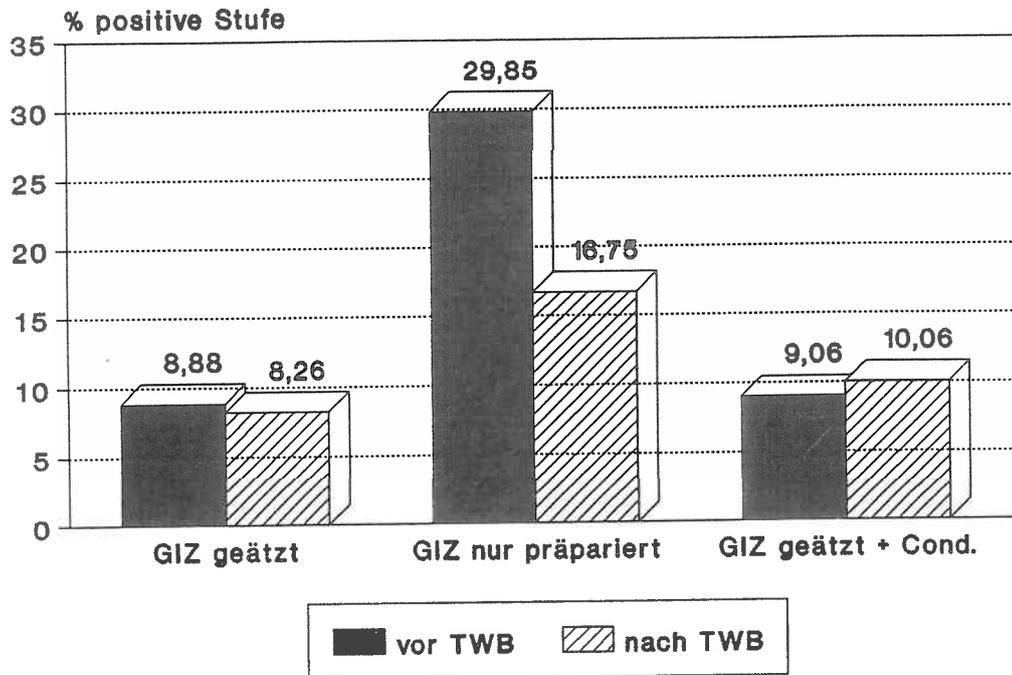


Abb. 21: Sandwichtechnik: Übergang GIZ-Komposit. Mittelwerte der Anteile mit "positiver Stufe" vor und nach TWB.

SD	Gruppe	6	8	7	SD
7.4995	Grp 6				6.2801
10.3150	Grp 8				9.8609
19.2067	Grp 7	*	*		9.0467
vor TWB					nach TWB

Tab. 17: Übergang GIZ-Komposit mit "positiver Stufe". Standardabweichung (SD) vor und nach TWB, * = Unterschied signifikant für $p=0.05$ vor TWB. Nach TWB keine signifikanten Unterschiede.

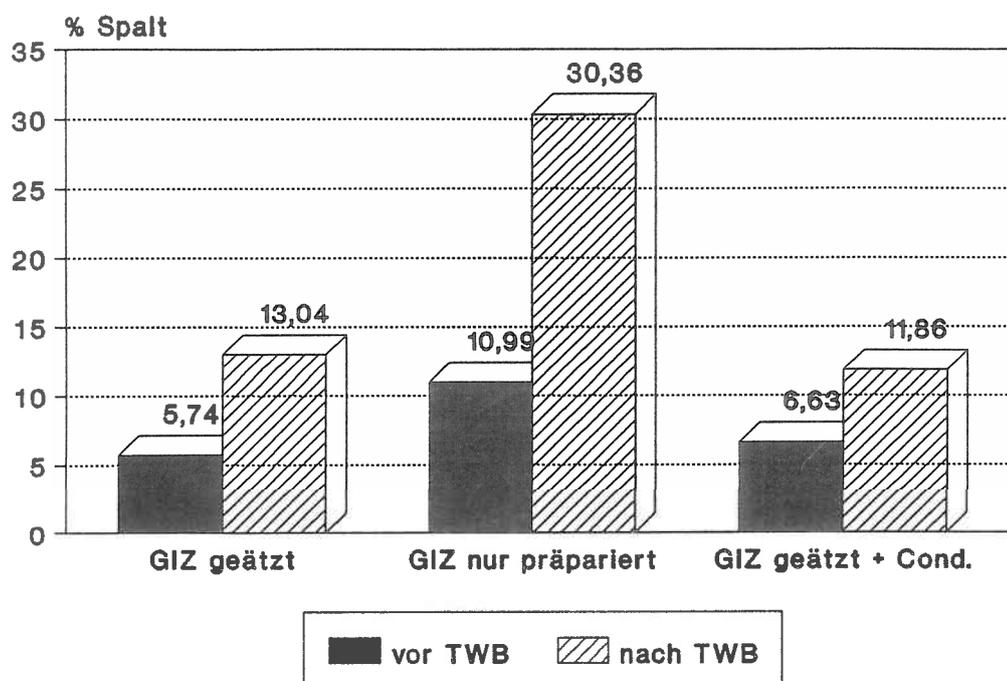


Abb. 22: Sandwichtechnik: Übergang GIZ-Komposit. Mittelwerte der Anteile mit "Spalt" vor und nach TWB.

SD vor TWB	SD nach TWB	Gruppe	8 6 7
6.6760	9.3799	Grp 8	
7.3655	9.1740	Grp 6	
8.4558	15.7535	Grp 7	* *

Tab. 18: Übergang GIZ-Komposit mit "Spalt". Standardabweichung (SD) vor und nach TWB, * = Unterschied signifikant für $p=0.05$ nach TWB. Vor TWB keine signifikanten Unterschiede.

	GIZ geätzt		GIZ präpariert		GIZ geätzt + Cond.	
	MV	SD	MV	SD	MV	SD
negative Stufe	0	0	0	0	0	0
Fraktur (GIZ)	0	0	1.68	1.676	0.47	0.474
Fraktur (Komposit)	2.72	3.667	2.99	3.317	0.87	1.273
nicht beurteilbar	0.27	0.403	0.53	0.909	1.16	1.403

Tab. 19: Übergang GIZ/Komposit. Mittelwerte (MV) und Standardabweichungen (SD) der Kriterien "negative Stufe", "Fraktur (GIZ)", "Fraktur (Komposit)" und "nicht beurteilbar" vor TWB. Keine signifikanten Unterschiede ($p= 0.05$).

	GIZ geätzt		GIZ präpariert		GIZ geätzt + Cond.	
	MV	SD	MV	SD	MV	SD
negative Stufe	0	0	0.74	1.437	0.13	0.411
Fraktur (GIZ)	0.66	1.822	2.49	2.901	0.54	1.215
Fraktur (Komposit)	3.11	3.904	3.21	2.237	3.28	4.211
nicht beurteilbar	0.87	1.349	1.20	1.760	0.31	0.980

Tab. 20: Übergang GIZ/Komposit. Mittelwerte (MV) und Standardabweichungen (SD) der Kriterien "negative Stufe", "Fraktur (GIZ)", "Fraktur (Komposit)" und "nicht beurteilbar" nach TWB. Keine signifikanten Unterschiede ($p= 0.05$).

4 Diskussion

4.1 Rand im koronalen Füllungsabschnitt

Mit der von Buonocore (13) erstmals beschriebenen Schmelz-Ätz-Technik hat sich in der restaurativen Zahnheilkunde ein Verfahren etabliert, welches randdichte, dauerhafte und ästhetisch einwandfreie Verhältnisse an der Verbundfläche zwischen Füllungskomposit und Zahnschmelz ermöglicht (83, 118).

Die Ergebnisse für die schmelzbegrenzten Füllungsråder bestätigen klar die Überlegenheit der Komposite bei Anwendung der Schmelz-Ätz-Technik. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen verwendeten Kunststoffen, deren Randqualität sich durch die Temperaturwechselbelastung nur minimal verschlechtert hat.

In der vorliegenden Studie fielen im Schmelzbereich in der Nähe der Schmelz-Zement-Grenze in Einzelfällen Spalten auf. Diese wurden, da die exakte Schmelz-Zement-Grenze am REM stets erkennbar war, definitionsgemäß für Kurve 1 (koronaler Abschnitt) gewertet. Die Ursache für dieses Problem mag darin begründet liegen, daß die nach zervikal dünn auslaufende Schmelzkapuze eine zunehmend prismenlose Struktur und einen geringeren Mineralisierungsgrad aufweist, so daß an dieser Stelle ungünstige Voraussetzungen für die Schaffung eines retentiven Oberflächenmusters im Sinne einer effektiven Schmelz-Ätz-Technik vorliegen (38, 39, 57, 116).

Aus diesem Grunde hat sich in wenigen Einzelfällen die bessere Randqualität der Kompositränder im Paarvergleich (z.B. gegenüber Ketac[®]-Fil mit Polyakryl- bzw. Gerbsäurevorbehandlung) als nicht signifikant erwiesen.

Ähnliche Untersuchungen anderer Autoren bestätigen die Überlegenheit der mit Hilfe der Schmelz-Ätz-Technik erzielbaren guten Randverhältnisse (23, 34, 40, 42, 111, 119, 125, 126, 143).

Der Randschluß von GIZ-füllungen war zum Schmelz hin durchwegs besser als zum Wurzelzement/Dentin. Andere Autoren gelangten auf Grund der Ergebnisse von REM-Befunden (110) und Farbstoffpenetrationsversuchen (42, 66) zu derselben Auffassung. Dies dürfte in der von Maldonado, Negm und Vougiouklakis et al. nachgewiesenen stärkeren Adhäsion von Glasionomorzementen an Schmelz als an Dentin begründet liegen (86, 97, 137).

4.2 Rand im Wurzelzement/Dentin

Die Übertragbarkeit von In-vitro-Resultaten auf klinische Verhältnisse ist gerade im zervikalen Bereich als problematisch zu betrachten. Unter klinischen Bedingungen muß die schwierige Trockenlegung berücksichtigt werden, die zusammen mit chemischer Degradation und mechanisch bedingten Belastungsfaktoren zu einer Diskrepanz zwischen in vitro und in vivo erzielten Ergebnissen führen kann (44, 128).

Die Ergebnisse zeigen, daß sich mit Ketac[®]-Silver und dem Handmischpräparat Chemfil[®] II im Vergleich zu allen anderen verwendeten Materialien im zervikalen Randabschnitt nur weniger dichte Randverhältnisse erzielen lassen.

Die beiden Materialien weisen darüberhinaus häufiger Randunregelmäßigkeiten, Porositäten und frakturierte Füllungsrän-der auf, was in zahlreichen Paarvergleichen durch die signifikant höheren Werte für Kriterium "F" zum Ausdruck kommt.

Die weiteren Ergebnisse lassen es nicht zu, einzelne Füllungs-materialien oder -techniken definitiv zu favorisieren. Zwar

ergab sich für Ketac[®]-Fil mit Vorbehandlung durch den Ketac[®] Conditioner vor TWB ein signifikant geringerer Wert für das Kriterium "D" ("Spalt") im Vergleich zu dem Dentinadhäsiv Scotchbond[®] 2, jedoch relativierte sich dieser Vorteil infolge der Temperaturwechselbelastung.

Die Serien 1 und 2 (Ketac[®]-Fil mit H₂O₂- bzw. Conditioner-Vorbehandlung) weisen, unabhängig von signifikanten Unterschieden, generell niedrigere Werte für "D" gegenüber der Serien mit Sandwichfüllungen und Füllungen mit Dentinadhäsiven auf. Da jedoch bei allen Serien mit GIZ- bzw. Cermet-Zement-Füllungen auch höhere Werte für "F" ("Fraktur") vorliegen, darf dies nicht im Sinne einer Überlegenheit der Serien 1 und 2 gegenüber den übrigen Materialien fehlinterpretiert werden.

Vielmehr ist dies Ausdruck einer vor allem bei Scotchbond[®] 2 und Gluma[®], in geringerem Ausmaß jedoch auch bei den Serien 6 bis 8, festgestellten "Polarisierung" der Bewertungskriterien. Bei den GIZ- und Cermet-Zement-Füllungen ist also das Spektrum der beobachteten Randqualitäten breiter, während es sich bei den übrigen Serien, vor allem bei den Dentinadhäsiven, eher auf "A" ("perfekter Rand") und "D" ("Spalt") reduziert.

Die innerhalb der einzelnen angewendeten Füllungstechniken gemachten Beobachtungen sollen im Folgenden näher besprochen werden.

4.2.1 Problem der Dentinvorbehandlung

Glasionomorzemente haften chemisch an Schmelz und Dentin (59, 86, 87, 142). Allerdings hinterläßt die Präparation im Dentin eine Schmierschicht, die das Zustandekommen einer chemischen Adhäsion beeinträchtigt (10, 12, 22, 27, 108). Das Entfernen dieser Schmierschicht muß jedoch sorgfältig abgewogen werden,

da stets die Gefahr der postoperativen Sensibilität infolge der Eröffnung der Dentintubuli besteht (10).

Die Kavitätenvorbehandlung mit 25%iger Polyakrylsäure (Ketac[®] Conditioner) für die Dauer von 10 Sekunden führte zu einer Steigerung der Randqualität "A" ("perfekter Rand") bei Füllungen mit dem Glasionomerzement Ketac[®]-Fil. Da jedoch der prozentuale Anteil der Randqualität "D" ("Spalt") infolge der Temperaturwechselbelastung deutlich anstieg, muß ein eventuell positiver Einfluß der Polyakrylsäurevorbehandlung mit Zurückhaltung gesehen werden, weil der Anteil von Füllungsabschnitten mit Randspalt nicht signifikant verringert werden konnte.

Von mehreren Autoren wird Polyakrylsäure zum Entfernen der Schmierschicht empfohlen und ein positiver Einfluß auf die Adhäsion von Glasionomerzementen an Dentin konstatiert (25, 77, 79, 108), jedoch konnten Haller et al. ebenfalls keine entsprechende Verbesserung der Randqualität finden (42). Andererseits muß berücksichtigt werden, daß die dabei verwendete Polyakrylsäure (Tubulicid, Dental Therapeutics, Schweden) während der relativ langen Einwirkzeit von 60 Sekunden unter Umständen Ca^{2+} - Ionen aus der Zahnhartsubstanz herausgelöst und somit zu einer verringerten Adhäsion des Glasionomerzementes geführt haben könnte (106).

Der gleiche Effekt muß als Ursache angenommen werden für die vergleichsweise schlechte Randqualität der Glasionomerzementfüllungen nach Vorbehandlung mit Gerbsäure für die Dauer von 30 Sekunden (Serie 3).

Bei dem Versuch der Schmierschichtentfernung mit schwachen Säuren muß somit in Übereinstimmung mit Haller et al. (42) angesichts einer möglichen Eröffnung zu vieler Dentintubuli zu Zurückhaltung geraten werden, zumal der positive Einfluß auf den Randschluß fraglich bleibt.

Unter klinischen Bedingungen ist darüberhinaus infolge des zentrifugal gerichteten Flüssigkeitsstromes und des damit verbundenen hydrostatischen Druckes eher eine Eröffnung der Dentinkanälchen zu erwarten, verbunden mit entsprechender postoperativer Sensibilität (10, 62).

Diese Erhöhung der Dentinpermeabilität, die unter physiologischen Bedingungen zur Herabsetzung der Dentinhaftung führen kann (91, 103, 132, 133), muß bei der Diskussion von In-vitro-Untersuchungen unbedingt berücksichtigt werden (46).

Peutzfeld und Asmussen (106) verweisen außerdem auf die individuell unterschiedlich ausgeprägte Dicke der Schmierschicht. Demnach bewirkt Polyakrylsäurevorbehandlung bei dicker Schicht möglicherweise nur eine Ausdünnung derselben, ohne die darunter gelegene Dentinstruktur anzulösen, so daß eine ausgeprägte Adhäsion zustandekommt. Bei dünner Schicht jedoch besteht nach Ansicht der Autoren die Möglichkeit, daß die Schmierschicht vollständig entfernt und zudem Kalzium aus dem Dentin entfernt wird. Eine verringerte Adhäsion des Glasionomerzementes wäre die Folge (106).

4.2.2 Glasionomerzemente

Innerhalb der Gruppe der Glasionomer- und Cermetzemente fiel insbesondere das schlechte Abschneiden des Materials Chemfil[®] II im Vergleich zu Ketac[®]-Fil auf. Chemfil[®] II weist für Kriterium "D" im T-Test vor und nach der thermischen Belastung ein im Vergleich zu Ketac[®]-Fil (Serie 1 und 2) signifikant schlechteres Randverhalten auf.

Die Ursache hierfür dürfte in der geringeren Konstanz des Pulver/Flüssigkeitgemisches beim Anmischen von Hand zu suchen sein. Mit den zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln sind Dosierungsabweichungen unvermeidlich (72). Bereits makroskopisch

konnte eine deutliche Varianz der Tropfengröße bei der Abgabe aus dem Dosierspender beobachtet werden.

Darüberhinaus fiel die im Vergleich zu den vordosierten Systemen auffällig zähe Konsistenz des Chemfil[®]-Materials unmittelbar nach dem Anmischen auf, die möglicherweise ein inniges Anfließen an die Kavitätenwand verhindert hat. Diese Beobachtung wurde auch von anderen Autoren gemacht und zusammen mit der Dynamik des Härungsverlaufes als Erklärungsversuch für geringere Haftwerte am Rinderdentin herangezogen (19, 72).

Demgegenüber stehen Ergebnisse von Haller et al. zur Randständigkeit zervikaler GIZ-Füllungen, die wiederum Chemfil[®] II gegenüber Ketac[®]-Fil favorisieren. Interessanterweise wird hier die höhervisköse Konsistenz als Grund für die bessere Adaptierbarkeit des Materials angeführt, da es unter dem Anpreßdruck der Zervikalmatrix nicht so leicht aus der Kavität herausquellen kann (42).

Dieser Zusammenhang fand in der vorliegenden Untersuchung keine Bestätigung. Vielmehr tritt die Überlegenheit des vordosierten Kapselsystems Ketac[®]-Fil gegenüber dem von Hand anzumischenden Präparat Chemfil[®] II deutlich hervor.

Das im Vergleich zu Chemfil[®] II überraschend gute Ergebnis des ebenfalls als Kapselpräparat vorliegenden Cermet-Zements Ketac[®]-Silver unterstreicht diesen Eindruck. Für Serie 5 (Ketac[®]-Silver) liegen nach den Ergebnissen des T-Tests allerdings nach TWB signifikant höhere Anteile im Hinblick auf das Kriterium "D" vor als für die Serien 1 und 2 (Ketac[®]-Fil mit H₂O₂- bzw. Conditioner-Vorbehandlung).

Bei Cermet-Zementen handelt es sich um eine Weiterentwicklung der Glasionomerezemente. Im Herstellungsverfahren wird feinstkörniges Silber beigegeben und mit den Silikat-Partikeln zu-

sammengesintert, wodurch Abrasions- und Biegefestigkeit gesteigert, sowie Abbindezeit und Feuchtigkeitsempfindlichkeit reduziert werden (35, 55, 89, 121, 122, 138). Im erhärteten Zement sind etwa 40 Gewichtsprozent Silber enthalten (35).

Nach den vorliegenden Ergebnissen bewirken diese Modifikationen im Herstellungsverfahren eine signifikante Verschlechterung der Randqualität im Vergleich zu Ketac[®]-Fil.

4.2.3 Sandwichtechnik

Die Proben der Serien 6,7 und 8 wurden nach der erstmals von McLean et al. beschriebenen Sandwich- oder Laminiertechnik verarbeitet (88). Abweichend von den Angaben McLeans und anderer Autoren (8, 88, 92, 114) wurde hier jedoch das Glasionomermermaterial erst nach frühestens 24 Stunden zur Sandwichfüllung weiterverarbeitet, in Einklang mit den Empfehlungen von Hickel (52, 53) und Kullmann (73, 74).

Insgesamt sind konstante, bezüglich der Bewertungen "D" und "A" zu keinem anderen Material signifikant abweichende Randqualitäten zu verzeichnen. Durch Säure, Wasser und Druckluft kann die Struktur des GIZ in der frühen Erhärtungsphase erwie-senermaßen beeinträchtigt werden (41, 73, 74). So muß die Ansicht, daß der Glasionomerzement sicherheitshalber erst nach Ablauf der sekundären Erhärtungsphase zur Unterfüllung reduziert werden soll, gestützt werden, zumal der GIZ in der zweiten Phase der Aushärtung eine Volumenkontraktion erfährt, die zu einem Spannungsaufbau an den beteiligten Grenzflächen führen kann (30).

Da die Verbundkräfte zwischen Komposit und angeätztem GIZ höher sein können als die Haftwerte des Glasionomerzementes an Dentin, besteht durchaus die Möglichkeit, daß schrumpfungsbedingte Spannungen im Komposit entweder zu einer Randdesinte-

gration an der Grenzphase GIZ/Dentin oder zu Kohäsivfrakturen im Glasionomerzement selbst führen (88, 108).

In diesem Zusammenhang muß die Polymerisationskontraktion von Kompositmaterialien sowie die innerhalb von 7 Tagen stattfindende hygroskopische Expansion in die Überlegungen mit einbezogen werden (6, 36, 56).

Es fällt auf, daß die Dentinkonditionierung mit Ketac[®] Conditioner keinen Einfluß auf die Randverhältnisse an der Grenzphase GIZ/Dentin ausüben konnte. Bei der Weiterverarbeitung zu einer Sandwichfüllung muß das GIZ-Material präpariert, kurz trocken geblasen, geätzt, abgesprayed und erneut im Luftstrom getrocknet werden, bevor das Auftragen und Aushärten von Visio[®]-Bond und Komposit erfolgen kann.

Offensichtlich wird die Randqualität einer Sandwichfüllung entscheidend bestimmt durch diese Serie zusätzlicher manipulatorischer Maßnahmen am Glasionomerzement, so daß eine etwaige positive Wirkung des Ketac[®] Conditioners nicht zur Geltung kommen kann.

In der vorliegenden Studie bestätigte sich die in vergleichbaren Untersuchungen gemachte Beobachtung einiger Autoren, die in Einzelfällen Bond-Material zwischen GIZ und Dentin feststellen konnten (21, 106).

Als Ursache hierfür werden Schäden im Verbund GIZ-Dentin, beispielsweise auf Grund von Säurepenetration entlang der Grenzfläche zum Dentin, diskutiert, die sekundär durch eingeflossenes Bond-Material ausgefüllt worden sind (106). Eine weitere mögliche Erklärung sehen Peutzfeld und Asmussen in der Tatsache, daß Ribbildungen im GIZ infolge des Ätzvorganges auftreten können (128).

In der vorliegenden Arbeit erscheint es jedoch wenig naheliegend, diesen Effekt für das Auftreten von Bond-Material zwischen GIZ und Dentin zu unterstellen, da die Dicke der GIZ-Fuge zur Tiefe hin rasch zunimmt. Vielmehr ist die Penetration von Visio^R-Bond in durch Säure vorgeschädigte Bereiche beziehungsweise in primär vorhandene Spalten anzunehmen.

Ein wichtiger Aspekt bei der Beurteilung von Füllungen nach der Sandwichtechnik ist der Verbund zwischen GIZ-Unterfüllung und Komposit-Deckfüllung. Im Falle ausgeprägter Spaltbildung kann es auch in diesem Bereich wie an "echten" Füllungsrandern zu Plaqueakkumulation und Bakterienansiedlung kommen, was sich klinisch in bekannter Weise in Form von Verfärbung, Randdesintegration und Gingivareizung manifestieren kann.

Nach den Ergebnissen der quantitativen Randanalyse liegen die Anteile mit perfektem Übergang bei den Gruppen mit angeätzter GIZ-Unterfüllung signifikant höher als bei der Vergleichsgruppe mit nicht geätztem GIZ. Nach der Temperaturwechselbelastung liegt der Prozentsatz der als "Spalt" erkannten Randabschnitte sogar bei 30%.

Der infolge der thermischen Belastung eingetretene Anstieg der Randqualität "D" (Spalt) ist bei der Gruppe mit nicht geätztem GIZ (Serie 7) stärker ausgeprägt als die Abnahme des Kriteriums "A" (perfekter Rand). Dies erklärt sich dadurch, daß bereits vor der Belastung signifikant höhere Füllungsanteile mit dünnen, überstehenden Kompositfahnen beobachtet und definitionsgemäß mit Kriterium "B" (positive Stufe) bewertet wurden. Nach der Wechselbelastung wiesen diese Bereiche ausgeprägte Randspalten mit einer Breite von bis zu 30 µm auf.

Bei Anwendung der Sandwichtechnik sollte deshalb das als Unterfüllung verwendete Glasionomermaterial für die Dauer von 30 Sekunden angeätzt werden. Zwar wird in einzelnen Publikationen

auf Grund der Ergebnisse von Zugversuchen (125) eine anderslautende Ansicht vertreten, jedoch kann diese nach den hier vorliegenden Resultaten der quantitativen Randanalyse nicht geteilt werden.

Vielmehr bestätigen sich die Beobachtungen anderer Autoren, die ebenfalls im Rahmen von In-vitro-Untersuchungen einen größtenteils einwandfreien Übergang an der Grenzphase zwischen geätztem GIZ und Kompositmaterial finden konnten (119, 120). Eine Steigerung des Verbundes der beiden Materialien durch vorangehende Säureätzung wurde außerdem in Abzugsversuchen bestätigt (2, 55).

4.2.4 Dentinadhäsive

Innerhalb der Gruppe der Dentinadhäsive weist Scotchbond[®] 2 für alle Kriterien mit Ausnahme von "E" ("Fraktur innerhalb der Zahnhartsubstanz") stets die günstigeren Ergebnisse gegenüber Gluma[®] auf. Dennoch resultieren daraus weder in der einfachen Varianzanalyse noch im gepaarten T-Test signifikante Unterschiede.

Dafür dürfte die für Gluma[®] errechnete hohe Standardabweichung verantwortlich sein, die bei der verwendeten Stückzahl von $n = 10$ keine Signifikanzen zuläßt. Die Auffassung anderer Autoren, die auf Grund der Sensitivität des Meßverfahrens die Gruppengrößen bei Anwendung der quantitativen Randanalyse am REM sehr klein halten (9, 69), muß deshalb in Abhängigkeit von den verwendeten Materialien jeweils überdacht werden.

Geradezu typisch für das Erscheinungsbild der beiden Dentinadhäsive in der vorliegenden Untersuchung war das Auftreten einzelner Füllungen mit extrem hohem Anteil an Kriterium "D" ("Spalt"). Diese "Ausreißer" (z.B. für Zahn Nr. 7/Serie 10: 20,8% "D" vor TWB und 38,3% "D" nach TWB bei einem Durch-

schnittswert von 6,4% bzw. 12,7%) waren bei Gluma[®] häufiger anzutreffen als bei Scotchbond[®] 2 und führten - bei ansonst meist einwandfreien Randverhältnissen - zu den oben beschriebenen Auswirkungen auf Standardabweichung und Signifikanz.

Inwieweit Unterschiede im Dentin (z.B. Sklerose etc.) diese hohe Standardabweichung verursachen, kann im Rahmen dieser Untersuchung nicht abgeschätzt werden.

Die Verbundmechanismen der Dentinadhäsive Gluma[®] und Scotchbond 2[®] werden als "chemo-mikromechanisch" bezeichnet (47). Beide Systeme unterscheiden sich jedoch grundsätzlich in der Behandlung der präparationsbedingten Schmierschicht.

Bei Gluma[®] bewirkt die Konditionierung mit EDTA eine vollständige Entfernung der Schmierschicht mit Eröffnung der Dentintubuli und Freilegung von Kollagenfasern (46, 48, 98). Das anschließende "Priming" bewirkt eine Monomerinfiltration sowohl in das freigelegte Kollagenfasergeflecht als auch in die freigelegten Tubuli bis in eine Tiefe von 300 μm (141). So entsteht einerseits eine intertubuläre Kunststoff-Dentin-Hybrid-schicht ("hybrid layer") und andererseits eine mikromechanische Haftung durch intratubuläre Kunststoffzapfen ("tags"), die einen wesentlichen Anteil an der Gesamtdhäsion ausmacht (18, 28, 33, 48, 96, 139, 140). Die Haftkraft am Dentin wird mit 18 Mpa angegeben (3, 93).

Bei Scotchbond[®] 2 kommt es durch die Applikation von Scotchprep ebenfalls zu einer Eröffnung der Tubuli mit Kollagenfreilegung, jedoch wird hier die Schmierschicht nur aufgelöst (48). Da Scotchprep Maleinsäure enthält, erfolgt bereits während dieses Vorgangs die Penetration von Monomeren in die Dentintubuli und in das freigelegte Kollagenfasergeflecht (47). Somit entstehen ebenfalls Kunststoff-Zapfen und eine

Kunststoff-Dentin-Hybridschicht, die hier jedoch wiederausgefällte Bestandteile der Schmierschicht enthalten (17, 47).

Der direkte Vergleich dieser beiden von der Behandlung der Schmierschicht her unterschiedlichen Systeme ergibt letztlich kein eindeutig zu favorisierendes Dentinhaftmittel.

Auch die In-vitro-Untersuchungen von Blunck sowie von Robinson et al. (hier allerdings in Kombination mit dem Komposit Valux[®]/3M) ergaben keinen signifikanten Unterschied im Randschlußverhalten der beiden Materialien (9, 117). Zidan et al. wiederum fanden für Gluma[®] die besseren Ergebnisse hinsichtlich Randschluß (144).

Nach den praktischen Erfahrungen dieser Untersuchung war allerdings das System Scotchbon[®] 2/ Silux[®] einfacher zu verarbeiten. Wie bereits in 2.1.3.3 beschrieben, muß bei der Anwendung von Gluma[®] ein zusätzlicher Arbeitsschritt mit der Applikation von "Gluma-2.-Cleanser" für 30 Sekunden durchgeführt werden, wodurch die Gefahr von Fehlermöglichkeiten erhöht wird.

Dieses Verfahren scheint eine Sensibilität gegenüber kleinsten Abweichungen bei der Verarbeitung aufzuweisen, wie die gerade für Gluma[®] beobachtete hohe Varianz der Randqualität vermuten läßt. Bei der Beurteilung von Materialneuentwicklungen auf diesem Gebiet sollte daher stets das Problem der Praktikabilität miteinbezogen werden.

Im Vergleich zu Glasionomerzement wiesen die Dentinhaftmittel weniger Randspalten auf. Dennoch wurde am Patienten kaum Sekundärkaries bei GIZ-Füllungen beobachtet (54, 63, 65, 71, 136), da GIZ F⁻-Ionen abgeben (54, 61, 86). Der prozentuale Anteil von Randspalten kann deshalb nur in Kombination mit anderen Faktoren eine Aussage über die klinische Eignung machen.

5 Zusammenfassung

An insgesamt 101 extrahierten Zähnen wurde das Randschlußverhalten von 10 verschiedenen Füllungsmaterialien bzw. -techniken bei Klasse-V-Kavitäten geprüft. Dazu wurden standardisierte, runde Kavitäten (Durchmesser $d=3$ mm) präpariert, deren Ränder halb im Schmelz und halb im Wurzelzement/Dentin lagen.

Die Kavitäten wurden mit den Glasionomorzementen Ketac[®]-Fil und Chemfil[®] II sowie dem Cermet-Zement Ketac[®]-Silver gefüllt. Zur Konditionierung der Kavitäten wurden Polyakrylsäure, Gerbsäure beziehungsweise lediglich H_2O_2 verwendet. Ebenso kamen drei in der Kavitätenvorbehandlung und in der Bearbeitung der GIZ-Unterfüllung variierende Gruppen mit Sandwichfüllungen zur Anwendung. Darüberhinaus wurden die Dentinadhäsive Scotchbond[®] 2 und Gluma[®] untersucht.

Alle Füllungen wurden einer Temperaturwechselbelastung von 2000 Zyklen zwischen 5 und 55 °C unterworfen. Vor und nach der thermischen Wechselbelastung wurden Replikas angefertigt und bei 200-facher Vergrößerung am Rasterelektronenmikroskop mit Hilfe der quantitativen Randanalyse analysiert.

Das Randschlußverhalten wurde getrennt für schmelz- und dentinbegrenzte Randanteile sowie für die nur bei Sandwichfüllungen vorhandene Grenzphase GIZ/Komposit an Hand von sieben definierten Kriterien untersucht.

Im zervikalen Füllungsabschnitt wiesen die Materialien Chemfil[®] II und Ketac[®]-Silver einen signifikant höheren Anteil an Randspalten auf als Ketac[®]-Fil mit vorangehender Kavitätenreinigung durch H_2O_2 oder Ketac[®] Conditioner.

Die insgesamt besten Randqualitäten zum Wurzelzement/Dentin nach der thermischen Belastung wurden mit Ketac[®]-Fil in Kom-

bination mit dem Ketac[®] Conditioner festgestellt. Dennoch zeigte diese Gruppe keine signifikant besseren Ergebnisse als die mit Dentinadhäsiv-Systemen versorgten Gruppen im Bezug auf die Kriterien "Perfekter Rand" und "Spalt". Im Vergleich zu den beiden übrigen Ketac[®]-Fil-Gruppen sowie zu zwei von den drei mit Sandwichfüllungen versorgten Gruppen ergaben sich ebenfalls keine signifikant unterschiedlichen Werte.

Die mit dem Dentinadhäsiv Gluma[®]/Lumifor[®] versorgten Kavitäten wiesen eine auffallend inhomogene Randqualität zum Wurzelzement/Dentin hin auf.

Bei Anwendung der Sandwichtechnik zeigte der Abschluß am Übergang Komposit/Glasionomierzement signifikant günstigere Ergebnisse, wenn das Glasionomermaterial angeätzt wurde.

6 Literaturverzeichnis

- 1 Alperstein K.S., Graver H.T. und Herold R.C.B.
Marginal leakage of glass-ionomer cement restorations.
J Prosth Dent 50,803-807 (1983).
- 2 Andreaus S.B.
Liquid versus gel etchants on glass ionomers: their effects on surface morphology and shear bond strengths to composite resins.
J Am Dent Ass 114,157-158 (1987).
- 3 Asmussen E. und Munksgaard E.C.
Bonding of restorative resins to dentin promoted by aqueous mixtures of aldehydes and active monomers.
Int Dent J 35,160-165 (1985).
- 4 Asmussen E. und Bowen R.L.
Adhesion to dentin conveyed by experimental and proprietary bonding agents.
J Dent Res 64,239 Abstr. Nr. 630 (1986)
- 5 Bassiouny M.A.
Adhesive Tensile Bond Strength of Light Activated Dentin Bonding Agents.
J Dent Res 65,314 Abstr. Nr. 1306 (1986)
- 6 Bausch J.R., de Lange K., Davidson C.L., Peters A. und de Gee A.J.
Clinical significance of polymerization shrinkage of composite resins.
J Prosth Dent 48,59 (1982).
- 7 Beigelis A.A. und Macchi L.R.
Composite Resin-Dentin Bond Strength with Coupling Agents.
J Dent Res 66,809 Abstr. Nr. 14 (1987).
- 8 Bitter N.C.
Glass ionomer-microfil technique for restoring cervical lesions.
J Prosth Dent 56,661-662 (1986).
- 9 Blunck U.
Vergleich zweier Kavitätenformen für die Prüfung der Wirksamkeit von Dentinhaftmitteln.
Dtsch Zahnärztl Z 44,513-516 (1989).
- 10 Brännström M. und Johnson G.
Effects of various conditioners and cleaning agents on prepared dentin surfaces. A scanning electron microscopic investigation.
J Prosth Dent 31,422-430 (1974).

- 11 Brännström M. und Vojinovic O.
Response of the Dental Pulp to Invasion of Bacteria around Three Filling Materials.
J Dent Child 43,15-21 (1976).
- 12 Brännström M., Glantz P.-O. und Nordenvall K.-J.
The Effect of Some Cleaning Solutions on the Morphology of Dentin Prepared in Different Ways: An In-Vivo Study.
J Dent Child 46,19-23 (1979).
- 13 Buonocore M.G.
A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces.
J Dent Res 34,849-853 (1955).
- 14 Buonocore M.G.
Principles of adhesive retention and adhesive restorative materials.
J Am Dent Ass 67,382-391 (1963).
- 15 Buonocore M.G., Matsui A. und Gwinnett A.J.
Penetration of resin dental materials into enamel surfaces with reference to bonding.
Arch Oral Biol 13,61-70 (1968).
- 16 Castagnola L., Wirz I. und Garberoglio R.
Die Schmelzätzung für die konservierende Zahnbehandlung.
Schweiz Mschr Zahnmed 85,975-1011 (1975).
- 17 Causton B.E.
Improved Bonding of Composite Restorative to Dentine.
Br Dent J 156,93-95 (1984).
- 18 Chappell R.P., Eick J.D., Mixson J.M. und Theisen F.C.
Shear bond strength and scanning electron microscopic observation of four dentinal adhesives.
Quintess Int 21,303 (1990).
- 19 Cook W.D.
Dental polyelectrolyte cements. II. Effect of powder/liquid ratio on their rheology.
Biomaterials 4,21 (1983).
- 20 Crim G.A. und Chapman K.W.
Effect of placement techniques on microleakage of a dentin-bonded composite resin.
Quintess Int 17,21-24 (1986).
- 21 Crim G.A. und Shay J.S.
Mikroleakage pattern of a resin-veneered glass-

- ionomer cavity liner.
J Prosth Dent 58,273-276 (1987).
- 22 Dahl B.L.
Effect of cleansing procedures on the retentive ability of two luting cements to ground dentin in vitro.
Acta Odont Scand 36,137-142 (1978).
- 23 Dijken, J.W.V. van, Hörstedt P.
In vivo adaptation of restorative materials to dentin.
J Prosth Dent 56,677-681 (1986).
- 24 Douglass C., Gillings D., Sollecito W. und Gammon M.
The Potential for Increase in the Periodontal Diseases of the Aged Population.
J Periodontol 54,721-730 (1983).
- 25 Duke E.S., Phillips R.W. und Blumershine R.
Effects of various agents in cleaning cut dentine.
J Oral Rehabil 12,295-302 (1985).
- 26 Duke E.S., Robbins J.W. und Snyder D.E.
Dentin Adhesive Evaluation for Restoring Cervical Abrasion Lesions.
J Dent Res 70 (Special Issue),457 Abstr. Nr. 1529 (1991).
- 27 Eick J., Wolko R.A., Anderson C.R. und Sorensen H.
Scanning electron microscopy of cut tooth surfaces and identification of debris by use of the electron microprobe.
J Dent Res 49,1359 (1970).
- 28 Eliades G., Palaghias G. und Vougiouklakis G.
Surface reactions of adhesives on dentin.
Dent Mater 6,208-216 (1990).
- 29 Eriksen H.M. und Pears G.
In vitro caries related to marginal leakage around composite restorations.
J Oral Rehabil 5,15-22 (1978).
- 30 Feilzer A.J., De Gee A.J. und Davidson C.L.
Curing contraction of composites and glass-ionomer cements.
J Prosth Dent 59,297-300 (1988).
- 31 Frei H.P.
Dichtigkeitsprüfungen an Kompositfüllungen mit und ohne Schmelzätzung.
Schweiz Mschr Zahnmed 85,1012-1029 (1975).

- 32 Füllemann J. und Lutz F.
Direktes Kompositinlay.
Schweiz Mschr Zahnmed 98,759-764 (1988).
- 33 Fukushima T. und Horibe T.
A Scanning Electron Microscopic Investigation of
Bonding of Metharyloyloxyalkyl Hydrogen Maleate
to Etched Dentin.
J Dent Res 69,46-50 (1990).
- 34 Fusayama A. und Kohno A.
Marginal closure of composite restorations with
the gingival wall in cementum/dentin.
J Prosth Dent 61,293-296 (1989).
- 35 Gasser O.
Glasionomer-Zemente: Gegenwart und Zukunft aus
werkstoffkundlicher Sicht.
Schweiz Mschr Zahnmed 97,328-335 (1987).
- 36 Goldmann M.
Polymerization shrinkage of resin-based restora-
tive materials.
Aust Dent J 28,156 (1983).
- 37 Gross J.D., Retief D.H. und Bradley E.L.
Tensile bond strengths of dentin bonding agents.
J Dent Res 64,244 Abstr. Nr. 621 (1985)
- 38 Gwinnett A.J.
Human prismless enamel and its influence on sea-
lant penetration.
Arch Oral Biol 18,441-444 (1973).
- 39 Gwinnett A.J.
Acid-etching for composite resin.
Dent Clin North Am 25,271-289 (1981).
- 40 Hänggi D., Hefti A.F. und Rateitschak K.H.
Randschluß bei Restaurationen von Klasse-V-
Läsionen mit Glasionomerzement und Komposit (Sand-
wich-Füllung).
Schweiz Mschr Zahnmed 100,29-37 (1990).
- 41 Haller B., Klaiber B., Götze W. und Piatka E.
Der Einfluß von Glasionomer-Zementen und Dentin-
adhäsiven auf die Randständigkeit zervikaler
Kompositfüllungen.
Dtsch Zahnärztl Z 42,588-593 (1987).
- 42 Haller B., Klaiber B. und Baron M.
Der Einfluß von Kavitätenrandbearbeitung und
Kavitätenreinigung auf die Dichtheit zervikaler
Glasionomerzement-Füllungen.
Dtsch Zahnärztl Z 43,933-938 (1988).

- 43 Haller B., Klaiber B. und Secknus A.
Randschluß zervikaler Kompositinlays in vitro.
Dtsch Zahnärztl Z 45,296-299 (1990).
- 44 Haller B., Thull R., Klaiber B. und Teuber M.
An extrusion test for determination of bond
strength to dentin.
J Dent Res 70,525 (1991).
- 45 Haller B.
Haftwerte und Bindungsmechanismen an die Dentin-
oberfläche.
Kurzfassung eines Vortrages anlässlich eines He-
raeus-Kulzer-Pressegespräches.
Fortbildung und Information für den Zahnarzt 4,6
(1992).
- 46 Haller B., Klaiber B., Hofmann N. und Dürner U.
Dentinpermeabilität nach Behandlung mit Cleansern
und Primern.
Dtsch Zahnärztl Z 47,171-175 (1992).
- 47 Haller B.
Aktueller Stand der Komposit-Dentinhaftung.
Zahnärztl Mitt 82,86-97 (1992).
- 48 Haller B., Albers P. und Seybold P.
ESCA-Untersuchungen der Dentinoberfläche nach
Behandlung mit Cleansern und Primern.
Vortrag Jahrestagung der AG für Grundlagenfor-
schung, Mainz 1991.
- 49 Hansen E.K. und Asmussen E.A.
Comparative study of dentin adhesives.
Scand J Dent Res 93,280 (1985).
- 50 Hansen E.K.
Effect of Cavity Depth and Application Technique
on Marginal
Adaptation of Resins in Dental Cavities.
J Dent Res 65,1319-1321 (1986).
- 51 Harris R., Phillips R.W. und Swartz M.L.
An Evaluation of Two Resin Systems for Restora-
tions of Abraded Areas.
J Prosth Dent 31,537-546 (1974).
- 52 Hickel R. und Voß A.
(Langzeit)erfahrungen mit Glasionomern.
Dtsch Zahnärztl Z 43,263-271 (1988).
- 53 Hickel R.
Einsatzgebiete und -verfahren von Glasionomerze-
ment als Füllungsmaterial.
Zahnärztl Mitt 79,914-919 (1989).

- 54 Hicks M.J., Flaitz C.M. und Silverstone L.M.
Secondary caries formation in vitro around glass ionomer restorations.
Quintess Int 17,527-532 (1986).
- 55 Hinoura K., Moore B.K. und Phillips R.W.
Tensile bond strength between glass ionomer cements and composite resin.
J Am Dent Ass 114,167-172 (1987).
- 56 Hirasawa T., Hirano S., Hirabayashi S., Hirashima I. und Aizawa M.
Initial dimensional change of composites in dry and wet conditions.
J Dent Res 62,28 (1983).
- 57 Horsted M., Fejerskov O., Joost-Larsen M. und Thylstrup A.
The Structure of Surface Enamel with Special Reference to Occlusal Surfaces of Primary and Permanent Teeth.
Caries Res 10,287-296 (1976).
- 58 Horsted-Bindslev P., Knudsen J. und Baelum V.
Dentin adhesive materials for restoration of cervical erosions. Two and three year clinical observations.
Am J Dent 1,195-199 (1988).
- 59 Hotz P., McLean J.W., Sced I. und Wilson A.D.
The bonding of glass ionomer cements to metal and tooth substrates.
Br dent J 18,41-47 (1977).
- 60 Hotz P.R.
Erosion des Zahnschmelzes.
Schweiz Mschr Zahnmed 2,219 (1987).
- 61 Hotz P.R.
Glasionomerzement- Verarbeitung, Antikariogenität.
Schweiz Mschr Zahnmed 97,336-339 (1987).
- 62 Johnson G. und Brännström M.
The sensitivity of dentin. Changes in relation to conditions at exposed tubule apertures.
Acta Odont Scand 32,29-38 (1974).
- 63 Knibbs P.J. und Plant C.G.
A clinical assessment of a rapid setting glass-ionomer cement.
Br Dent J 161,323-326 (1986).

- 64 Knibbs P.J., Plant C.G. und Pearson G.J.
A clinical assessment of an anhydrous glass-ionomer cement.
Br Dent J 161,99-103 (1986).
- 65 Knibbs P.J.
A clinical report on the use of a glass ionomer cement to restore cervical margin lesions.
J Oral Rehabil 14,105-109 (1987).
- 66 König F. und Holz J.
Tests d'infiltration et examens au MEB in vitro de six adhesifs dentaires.
Schweiz Mschr Zahnmed 96,1197 (1986).
- 67 Komatsu M. und Finger W.
Dentin Bonding Agents: Correlation of Early Bond Strength with Margin Gaps.
Dent Mat 2,257-262 (1986).
- 68 Krejci I. und Lutz F.
Marginal adaptation of Class V-restorations using different restorative techniques.
J Dent Res 67,119 (1988).
- 69 Krejci I., Sägesser D. und Lutz F.
Optimierung der Dentinhftung in gemischten Klasse-V-Kavitäten.
Schweiz Mschr Zahnmed 102,32-37 (1992).
- 70 Kröncke A.
Der Füllungs- und Kronenrand aus parodontologischer Sicht.
Dtsch Zahnärztl Z 28,161-165 (1973).
- 71 Kullmann W.
Dentinhft-Komposit und Glasionomer-Zement zur Restauration zervikaler Läsionen.
Dtsch Zahnärztl Z 40,922-926 (1985).
- 72 Kullmann W.
Glasionomer-Zemente- Physikalisch-technische Eigenschaften in Abhängigkeit von der Verarbeitung.
Dtsch Zahnärztl Z 41,751-754 (1986).
- 73 Kullmann W.
Festigkeiten von Glaspolyalkenoat-Zementen in Relation zur Polymerisationsschrumpfung von Kompositkunststoffen.
Dtsch Zahnärztl Z 42,577-579 (1987).
- 74 Kullmann W.
Die Glaspolyalkenoat-Kunststoff-Füllung. Konsequenz aus klinischen und werkstoffkundlichen Erfahrungen bei der Restauration zervikaler Läsionen.

- Dtsch Zahnärztl Z 43,387-389 (1988).
- 75 Kullmann W. und Dasch W.
Wurzeloberflächenkaries- Epidemiologie, Ätiologie
und Behandlungsmöglichkeiten.
Zahnärztliche Praxis 11,414-423 (1991).
- 76 Lambrechts P., Braem M. und Vanherle G,
Klinische Erfahrungen mit Composites und Dentin-
Adhäsiven im Seitenzahnbereich. II: Klinische
Beurteilung von Dentin-Adhäsiven.
Phillip Journal 2,71-77 (1988).
- 77 Lehr W.N. von der, Berry E.K. und Herrin H.K.
Smear Layer Removal.
J Dent Res 65,354-354 (1986).
- 78 Leinfelder K.F., Russel C.M., Thornon R.J., Cowen
R.G. und Walker C.K.
Efficacy of The Dentin Bonding Agent Part II: A
comparison of Glass Ionomer Cement with Dentin
Bonding Agents.
J Alabama Dent Ass 70,15-22 (1986).
- 79 Long T.E., Duke E.S. und Norling B.K.
Polyacrylic Acid Cleaning of Dentin and Glass
Ionomer Bond Strength.
J Dent Res 65,345-345 (1986).
- 80 Lüscher B., Lutz F., Ochsenbein H. und Mühlemann
H.R.
Microleakage and marginal adaptation of composite
resin restorations.
J Prosth Dent 39,409-413 (1978).
- 81 Lutz F., Lüscher B., Ochsenbein H. und Mühlemann
H.R.
Adhäsive Zahnheilkunde.
Juris Druck Verlag, Zürich, 1976.
- 82 Lutz F., Phillips R.W., Roulet J.-F. und Imfeld
Th.
Komposits-Klassifikation und Wertung.
Schweiz Mschr Zahnmed 93,914-929 (1983).
- 83 Lutz F., Krejci I. und Barbakow F.
Quality and durability of marginal adaptation in
bonded composite restorations.
Dent Mater 7,107-113 (1991).
- 84 Lutz F. und Krejci I.
Neue Adhäsiv-Systeme: Schritte zum "Total Bon-
ding".
Phillip Journal 9,445-449 (1992).

- 85 Maderer P. und Eifinger F.F.
Klinische Nachuntersuchungen an Klasse-IV-Füllungen in Adhäsivtechnik.
Schweiz Mschr Zahnmed 93,441-448 (1983).
- 86 Maldonado A., Swartz M.L. und Phillips R.W.
An in vitro study of certain properties of a glass ionomer cement.
J Am Dent Ass 96,785-791 (1978).
- 87 McLean J.W. und Wilson A.D.
The clinical development of glass-ionomer cement. II. Some clinical applications.
Aust Dent J 22,120-127 (1977).
- 88 McLean J.W., Prosser H.J. und Wilson A.D
The use of glass-ionomer cements in bonding composite resins to dentine.
Br Dent J 158,410-414 (1985).
- 89 McLean J.W.
Die Verwendung von Glasionomerzementen zur Bindung von Kompositfüllungsmaterialien an Dentin (II).
Die Quintessenz 10,1631-1638 (1987).
- 90 Meerbek B. van, Vanherle G., Braem M. und Lambrechts P.
Three-year in-vivo performance of the Scotchbond 2 Dental Adhesive system.
J Dent Res 70,762 Abstr. Nr. 184 (1991).
- 91 Mitchem J.C., Terkla L.G. und Gronas D.G.
Bonding of resin dentin adhesives under simulated physiological conditions.
Dent Mater 4,351 (1988).
- 92 Mount G.J.
Glass ionomer cements in gerodontics. A status report for the American Journal of Dentistry.
Am J Dent 1,123-128 (1988).
- 93 Munksgaard E.C. und Asmussen E.
Bond strength between dentin and restorative resins mediated by mixtures of HEMA and glutaraldehyde.
J Dent Res 63,1087-1089 (1984).
- 94 Munksgaard E.C., Irie M. und Asmussen E.
Dentin-polymer bond promoted by Gluma and various resins.
J Dent Res 64,1409 (1985).
- 95 Munksgaard E.C., Itoh K. und Jörgensen K.D.
Dentin-polymer bond in resin fillings tested in

- vitro by thermo- and load-cycling.
J Dent Res 64,144-146 (1985).
- 96 Nakabayashi N., Kojima K. und Masahura E.
The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates.
J Biomed Mat Res 16,265 (1982).
- 97 Negm M.M., Beech D.R. und Grant A.A.
An evaluation of mechanical and adhesive properties of polycarboxylate and glass ionomer cements.
J Oral Rehabil 9,161-167 (1982).
- 98 Nikaido T.
Formulation of photocurable bonding liner and adhesion to dentin:effect of photoinitiator, monomer and photoirradiation.
J Jpn Dent Mater 8,862 (1989).
- 99 Noack M.
In vitro- und in vivo- Vergleich eines experimentellen Hybridkomposits mit einem inhomogenen Mikrofüllerkomposit bei Klasse-III-Kavitäten.
Med Diss Berlin (1986).
- 100 Nolden R.
Vergleichende Untersuchungen zur Festigkeit des mit verschiedenen Adhäsiv-Füllungssystemen erreichbaren Verbundes.
Dtsch Zahnärztl Z 36,139-143 (1981).
- 101 Nolden R.
Die Frontzahnfüllung.
Dtsch Zahnärztekalendar 44,41-66 (1985).
- 102 Omura I., Yamauchi J. und Wada T.
A New Dentin-Bonding Agent and Its Adhesive Properties.
J Dent Res 64,244 Abstr. Nr. 623 (1986)
- 103 Pashley D.H., Michelich V. und Kehl T.
Dentin permeability: Effects of smear layer removal.
J Prosth Dent 46,531-537 (1981).
- 104 Petrin P.
Kompositmaterialien in der Zahnheilkunde. Eine experimentelle, klinische und rasterelektronenoptische Untersuchung mit besonderer Berücksichtigung der Säureadhäsivtechnik. Teil I.
Öst Z Stomat 78,244-263 (1981).
- 105 Petschelt A.
Säureätztechnik bei konventionellen Kavitäten.
Dtsch Zahnärztl Z 37,169-172 (1982).

- 106 Peutzfeld A. und Asmussen E.
Bonding and gap formation of glass-ionomer cement
used in conjunction with composite resin.
Acta Odont Scand 47,141-148 (1989).
- 107 Porte A., Lutz F., Lund M.R., Swartz M.L. und
Cochran M.A.
Cavity designs for composite resins.
Oper Dent 9,50-56 (1984).
- 108 Powis D.R., Folleras T., Merson S.A. und Wilson
A.D.
Improved Adhesion of a Glass Ionomer Cement to
Dentin and Enamel.
J Dent Res 61,1416-1422 (1982).
- 109 Prati C., Nucci C. und Montanari G.
Shear bond strength and microleakage of dentin
bonding systems.
J Prosth Dent 65,401-407 (1991).
- 110 Reich E.
REM-untersuchungen der Randspalten von
Glasionomer-Zement-Füllungen nach thermischer
Belastung.
Dtsch Zahnärztl Z 41,747-750 (1986).
- 111 Reich E. und Völkl H.
Der Randspalt kombinierter Füllungen aus Komposit
und Glasionomerzement in vitro.
Dtsch Zahnärztl Z 44,421-425 (1989).
- 112 Reich E.
Glass-ionomer cement and "sandwich" restorations
after two years in vivo.
J Dent Res 68,1015 Abstr. Nr. 1185 (1989).
- 113 Reich E.
Glasionomer-Zement und Sandwich-Füllungen nach
zwei Jahren in vivo.
Dtsch Zahnärztl Z 46,161-164 (1991).
- 114 Reich E.
Die Zahnhalsfüllung mit Glas-Ionomer-Zement.
Phillip Journal 8,82-88 (1991).
- 115 Retief D.H.
Effect of conditioning the enamel surface with
phosphoric acid.
J Dent Res 52,333-341 (1973).
- 116 Ripa L.W., Gwinnett A.J. und Buonocore M.G.
The "prismless" outer layer of deciduous and
permanent enamel.
Arch Oral Biol 11,41-48 (1966).

- 117 Robinson P.B., Moore B.K. und Swartz M.L.
The effect on microleakage of interchanging dentine adhesives in two composite resin systems in vitro.
Br Dent J 164,77 (1988).
- 118 Roulet J.F.
Untersuchung über den Randschluß von Kompositen in vivo.
Schweiz Mschr Zahnmed 86,699-712 (1976).
- 119 Roulet J.F. und Rosansky J.
In vitro marginal integrity of combined glass ionomer cement - composite fillings.
J Dent Res 65,812 Abstr. Nr. 779 (1986).
- 120 Roulet J.F., Noack M. und Blunck U.
Die Zahnhalsfüllung.
Deutscher Zahnärztekalendar,67-90 (1987).
- 121 Salm M.
Laminiertechnik und klinische Anwendung der Glas-Cermet-Zemente nach McLean.
Schweiz Mschr Zahnmed 97,340-342 (1987).
- 122 Schmalz G.
Antimikrobielle Eigenschaften eines Zinkoxi-Phosphatzementes und eines Glasionomer-Zementes mit und ohne Silberzusatz.
Dtsch Zahnärztl Z 41,628-632 (1987).
- 123 Schmid H., Lutz F. und Hirsbrunner E.
Klasse-V-Füllungen mit Super-Bond. 2-Jahres-Resultate.
Schweiz Mschr Zahnmed 96,679-687 (1986).
- 124 Seichter U.
REM-Untersuchungen über den Zervikalen Randspalt bei Kompositrestaurationen mit Haftvermittlern.
Dtsch Zahnärztl Z 41,739-742 (1986).
- 125 Sheth J.J., Jensen M.E., Sheth P.J. und Versteeg J.
Effect of etching glass-ionomer cements on bond-strength to composite resin.
J Dent Res 68,1082-1087 (1989).
- 126 Shortall A.C., Baylis R.L. und Grundy J.R.
Marginal seal of Class 5 composite/glass ionomer sandwich restorations.
Rest Dent,80-87 (1988).
- 127 Smith G.
Surface deterioration of glass-ionomer cement during acid etching: An SEM Evaluation.
Oper Dent 13,3-7 (1988).

- 128 Smith D.C. und Ruse N.D.
In Vitro Evaluation of Adhesion to Dentin of
Resin Bonding Systems.
J Dent Res 64,239 Abstr. Nr. 624 (1986)
- 129 Söderholm K.-J.M.
Correlation of in vivo and in vitro performance
of adhesive restorative materials: A report of
the ASC MD156 Task Group on Test Methods for the
Adhesion of Restorative Materials.
Dent Mater 7,74-83 (1991).
- 130 Solomon A. und Beech D.R.
Bond strengths of composites to dentine using
primers.
J Dent Res 62,677 Abstr. Nr. 253 (1983)
- 131 Stanford J.W., Sabri Z. und Jose S.
A comparison of the effectiveness of dentine
bonding agents.
Int Dent J 35,139-144 (1985).
- 132 Tani Y.
Eigenschaften von Composites aus klinischer
Sicht.
Phillip Journal 1,5-10 (1988).
- 133 Tao L. und Pashley D.H.
Dentin perfusion effects on the shear bond
strengths of bonding agents to dentin.
Dent Mater 5,181 (1989).
- 134 Terkla L.G., Brown A.C., Hainisch A.P. und
Mitchem J.C.
Testing sealing properties of restorative ma-
terials against moist dentin.
J Dent Res 66,1758-1764 (1987).
- 135 Vanherle G., Verschueren M., Lambrechts P. und
Braem M.
Clinical investigation of dental adhesive
systems. Part I: An in vivo study.
J Prosth Dent 55,157-163 (1986).
- 136 Voß A. und Hickel R.
Nachuntersuchung von zervikalen Glasionomerze-
ment- und Kompositfüllungen.
Dtsch Zahnärztl Z 43,944-946 (1988).
- 137 Vougiouklakis G., Smith D.C. und Lipton S.
Evaluation of the bonding of cervical restorative
materials.
J Oral Rehabil 9,231-251 (1982).

- 138 Walls A.W.G., Adamson J., McCabe J.F. und Murray J.J.
The properties of a glass polyalkenoate (ionomer) cement incorporating sintered metallic particles.
Dent Mater 3,113-116 (1987).
- 139 Wang T. und Nakabayashi N.
Effect of 2-(methacryloxy)ethyl phenyl hydrogen phosphate on adhesion to dentin.
J Dent Res 70,59 (1991).
- 140 Wang T., Nikaido T. und Nakabayashi N.
Photocure bonding agent containing phosphoric methacrylate.
Dent Mater 7,59-62 (1991).
- 141 Watson T.F. und Boyde A.
Tandem Scanning Reflected Light Microscopy: Applications in Clinical Dental Research.
Scanning Microscopy 1,1971-1981 (1987).
- 142 Welsh E.L. und Hembree J.H.
Microleakage at the gingival wall with four class 5 anterior restorative materials.
J Prosth Dent 54,370-371 (1985).
- 143 Wilson A.D. und Prosser H.J.
A Survey of Inorganic and Polyelectrolyte Cements.
Br Dent J 157,449-454 (1984).
- 144 Zidan O., Gomez-Marin O. und Tsuchiya T.
A comparative study of the effects of dentinal bonding agents and application techniques on marginal gaps in class 5 cavities.
J Dent Res 66,716-721 (1987).

7 Anhang

7.1 Abkürzungen

1	Bis-GMA	=	Bisphenol-glycidylmethacrylat
2	EDTA	=	Ethylen-diamin-tetra-acetat
3	GIZ	=	Glasionomerzement
4	HEMA	=	2-Hydroxyethyl-dimethacrylat
5	mA	=	Milliampère
6	MPa	=	Megapascal
7	PC	=	Personal Computer
8	REM	=	Rasterelektronenmikroskop
9	TWB	=	Temperaturwechselbelastung

7.2 Materialien

1	Araldit CW 2215 und HR	Ciba-Geigy, CH-4002 Basel.
2	Chemfil [®] II	De Trey Dentsply, D-7750 Konstanz.
3	Computer Commodore 8032	Commodore, D-600 Frankfurt.
4	Diamant FG001 021	Hopf, Ringleb & Co., D-1000 Berlin.
5	Diamant FG251 018	Hopf, Ringleb & Co., D-1000 Berlin.
6	Diamant FG001 F029	Hopf, Ringleb & Co., D-1000 Berlin.
7	Diamant FG249 F014	Hopf, Ringleb & Co., D-1000 Berlin.
8	Elipar [®] II	ESPE, D-8031 Seefeld.
9	Esticid	Kulzer & Co., D-6393 Wehrheim.
10	Gluma Bonding System [®]	Bayer Dental, D-5090 Leverkusen.
11	ISI-SR-50 SEM	ISI Inc., Milpitas, Ca. 95035 USA.
12	KaVo	D-7950 Biberach/Riss 1.
13	Ketac [®] Conditioner	ESPE, D-8031 Seefeld.

14	Ketac [®] -Fil	ESPE,	D-8031 Seefeld.
15	Ketac [®] -Silver	ESPE,	D-8031 Seefeld.
16	Lumifor [®]	Bayer Dental,	D-5090 Leverkusen.
17	Paladur [®]	Kulzer & Co.,	D-6393 Wehrheim.
18	Permadyne [®]	ESPE,	D-8031 Seefeld.
19	Polierbürste Nr.9631/204/060	Brasseler,	D-4920 Lemgo.
20	Quanti-Gap 2.1	Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie,	D-8520 Erlangen.
21	Scotchbond [®] 2	3M,	D-4040 Neuss.
22	Silux [®]	3M,	D-4040 Neuss.
23	Silamat [®]	Vivadent Schaan,	Liechtenstein.
24	SPSS/PC + Version 4.1	SPSS GmbH Software,	D-8000 München.
25	Sputtergerät SCD 040	Balzers Union,	9496 Balzers, Liechtenstein.
26	Super-Snap [®]	Shofu,	D-4030 Ratingen 1.
27	Thermocyclinggerät	Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie,	D-8520 Erlangen.
28	Visio [®] -Bond	ESPE,	D-8031 Seefeld.
29	Visio [®] -Dispers	ESPE,	D-8031 Seefeld.

7.3 Varianzanalyse

Tab. 21:

a) Koronaler Rand: Bewertung B in Prozent VOR TWB.

Group	Count	Mean	Standard Deviation	Error
Grp 1	11	4.0545	3.7559	1.1324
Grp 2	10	.7400	1.3310	.4209
Grp 3	10	2.7900	4.8691	1.5397
Grp 4	10	3.3900	3.9865	1.2606
Grp 5	10	2.2800	2.3916	.7563
Grp 6	10	.8200	2.5931	.8200
Grp 7	10	.0000	.0000	.0000
Grp 8	10	.8000	1.8445	.5833
Grp 9	10	.0000	.0000	.0000
Grp10	10	.7900	1.9745	.6244

b) Mit (*) markierte Paare unterscheiden sich signifikant für $p = 0.05$.

Mean	Group	
.0000	Grp 7	
.0000	Grp 9	
.7400	Grp 2	
.7900	Grp10	
.8000	Grp 8	
.8200	Grp 6	
2.2800	Grp 5	
2.7900	Grp 3	
3.3900	Grp 4	
4.0545	Grp 1	* *

G G G G G G G G G G
 r r r r r r r r r r
 p p p p p p p p p p
 1
 7 9 2 0 8 6 5 3 4 1

Tab. 22:

Koronaler Rand: Bewertung B in Prozent NACH TWB.

Group	Count	Mean	Standard Deviation	Standard Error
Grp 1	11	2.3545	2.7566	.8311
Grp 2	10	.3900	.9146	.2892
Grp 3	10	2.3300	4.9878	1.5773
Grp 4	10	1.7800	2.3616	.7468
Grp 5	10	.5200	.6286	.1988
Grp 6	10	.8200	2.5931	.8200
Grp 7	10	.0000	.0000	.0000
Grp 8	10	.7900	1.8430	.5828
Grp 9	10	.0000	.0000	.0000
Grp10	10	.7900	1.9745	.6244

Keine signifikanten Unterschiede für $p = 0.05$.

Tab. 23:

Koronaler Rand: Bewertung C in Prozent VOR TWB.

Group	Count	Mean	Standard Deviation	Standard Error
Grp 1	11	.7545	1.6990	.5123
Grp 2	10	.4100	.6871	.2173
Grp 3	10	.0400	.1265	.0400
Grp 4	10	1.6200	2.9585	.9356
Grp 5	10	1.4500	2.2960	.7261
Grp 6	10	.0000	.0000	.0000
Grp 7	10	.0000	.0000	.0000
Grp 8	10	.4000	1.2649	.4000
Grp 9	10	.0000	.0000	.0000
Grp10	10	.0000	.0000	.0000

Keine signifikanten Unterschiede für $p = 0.05$.

Tab. 24:

a) Koronaler Rand: Bewertung C in Prozent NACH TWB.

Group	Count	Mean	Standard Deviation	Standard Error
Grp 1	11	2.0727	2.7879	.8406
Grp 2	10	.8700	1.2945	.4093
Grp 3	10	.4800	1.2908	.4082
Grp 4	10	1.6600	1.3591	.4298
Grp 5	10	1.5500	1.3583	.4295
Grp 6	10	.0000	.0000	.0000
Grp 7	10	.0000	.0000	.0000
Grp 8	10	.4000	1.2649	.4000
Grp 9	10	.0000	.0000	.0000
Grp10	10	.0000	.0000	.0000

b) Mit (*) markierte Paare unterscheiden sich signifikant für $p = 0.05$.

Mean	Group	G G G G G G G G G G	r r r r r r r r r r	P P P P P P P P P P
.0000	Grp 6	6	7	9
.0000	Grp 7	0	8	3
.0000	Grp 9	2	4	5
.0000	Grp10	1		
.4000	Grp 8			
.4800	Grp 3			
.8700	Grp 2			
1.5500	Grp 4			
1.6600	Grp 5			
2.0727	Grp 1	*	*	*

Tab. 25:

Koronaler Rand: Bewertung E in Prozent VOR TWB.

Group	Count	Mean	Standard Deviation	Standard Error
Grp 1	11	.0636	.2111	.0636
Grp 2	10	1.1600	3.6682	1.1600
Grp 3	10	.0800	.2530	.0800
Grp 4	10	.0700	.2214	.0700
Grp 5	10	.2600	.5680	.1796
Grp 6	10	.2700	.8538	.2700
Grp 7	10	.0000	.0000	.0000
Grp 8	10	.1000	.3162	.1000
Grp 9	10	.0000	.0000	.0000
Grp10	10	.0000	.0000	.0000

Keine signifikanten Unterschiede für $p = 0.05$.

Tab.: 26:

a) Koronaler Rand: Bewertung E in Prozent NACH TWB

Group	Count	Mean	Standard Deviation	Standard Error
Grp 1	11	.7182	1.0925	.3294
Grp 2	10	1.5700	3.4673	1.0965
Grp 3	10	.3000	.4714	.1491
Grp 4	10	3.0100	2.9823	.9431
Grp 5	10	2.2700	2.7749	.8775
Grp 6	10	.2700	.8538	.2700
Grp 7	10	.0000	.0000	.0000
Grp 8	10	.0000	.0000	.0000
Grp 9	10	.0000	.0000	.0000
Grp10	10	.0000	.0000	.0000

b) Mit (*) markierte Paare unterscheiden sich signifikant für $p = 0.05$.

Mean	Group	G G G G G G G G G G
		r r r r r r r r r r
		p p p p p p p p p p
		1
		7 8 9 0 6 3 1 2 5 4
.0000	Grp 7	
.0000	Grp 8	
.0000	Grp 9	
.0000	Grp10	
.2700	Grp 6	
.3000	Grp 3	
.7182	Grp 1	
1.5700	Grp 2	
2.2700	Grp 5	
3.0100	Grp 4	* * * * * * *

Tab. 28:

a) Koronaler Rand: Bewertung F in Prozent NACH TWB.

Group	Count	Mean	Standard Deviation	Standard Error
Grp 1	11	2.4636	1.7924	.5404
Grp 2	10	2.1800	2.5568	.8085
Grp 3	10	.9200	1.6212	.5127
Grp 4	10	4.6100	3.2088	1.0147
Grp 5	10	4.4800	3.5383	1.1189
Grp 6	10	.2200	.5203	.1645
Grp 7	10	.0000	.0000	.0000
Grp 8	10	.1300	.4111	.1300
Grp 9	10	.0000	.0000	.0000
Grp10	10	.0900	.2846	.0900

b) Mit (*) markierte Paare unterscheiden sich signifikant für $p = 0.05$.

Mean	Group	G G G G G G G G G G	r r r r r r r r r r	p p p p p p p p p p
		1		
		7 9 0 8 6 3 2 1 5 4		
.0000	Grp 7			
.0000	Grp 9			
.0900	Grp10			
.1300	Grp 8			
.2200	Grp 6			
.9200	Grp 3			
2.1800	Grp 2			
2.4636	Grp 1			* *
4.4800	Grp 5			* * * * * * * *
4.6100	Grp 4			* * * * * * * *

Tab. 31: Übergang GIZ-Komposit (Kurve 3).

a): p-Werte für die Bewertung "Spalt" vor TWB. keine signifikanten Unterschiede für $p=0.05$.

Gruppe	6	7	8
6		.167	.788
7	.167		.218
8	.788	.218	

b): p-Werte für die Bewertung "Spalt" nach TWB. Signifikante Unterschiede für $p=0.05$ durch **Fettdruck** hervorgehoben.

Gruppe	6	7	8
6		.010	.784
7	.010		.006
8	.784	.006	

7.4 T-Test

Gruppe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		.348	.266	.019	.170	.382	.334	.378	.536	.282
2	.348		.101	.006	.028	.010	.045	.054	.039	.069
3	.266	.101		.275	.928	.479	.619	.578	.410	.802
4	.019	.006	.275		.169	.041	.070	.062	.033	.137
5	.170	.028	.928	.169		.381	.588	.534	.303	.837
6	.382	.010	.479	.041	.381		.758	.841	.765	.578
7	.334	.045	.619	.070	.588	.758		.928	.607	.776
8	.378	.054	.578	.062	.534	.841	.928		.680	.719
9	.536	.039	.410	.033	.303	.765	.607	.680		.476
10	.282	.069	.802	.137	.837	.578	.776	.719	.476	

Tab. 32 a): Zervikaler Rand. P-Werte für das Kriterium "Spalt" vor TWB. Unterschiede für das Signifikanzniveau $p=0.05$ durch **Fettdruck** hervorgehoben.

Gruppe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		.594	.661	.031	.039	.131	.178	.233	.539	.324
2	.594		.453	.015	.010	.021	.064	.118	.304	.193
3	.661	.453		.154	.355	.724	.638	.607	.968	.665
4	.031	.015	.154		.388	.117	.197	.285	.112	.305
5	.039	.010	.355	.388		.250	.507	.679	.267	.679
6	.131	.021	.724	.117	.250		.782	.731	.682	.817
7	.178	.064	.638	.197	.507	.782		.905	.594	.958
8	.233	.118	.607	.285	.679	.731	.905		.573	.962
9	.539	.340	.968	.112	.267	.682	.594	.573		.648
10	.324	.193	.665	.305	.679	.817	.958	.962	.648	

Tab. 32 b): Zervikaler Rand. P-Werte für das Kriterium "Spalt" nach TWB. Unterschiede für das Signifikanzniveau $p=0.05$ durch **Fettdruck** hervorgehoben.

7.5 Kruskal-Wallis Test

7.5.1 Koronaler Rand

Tab. 33: Kurve 1 Bewertung A in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases		
33.23	11	Serie	1
43.95	10	Serie	2
37.90	10	Serie	3
27.70	10	Serie	4
18.30	10	Serie	5
68.40	10	Serie	6
76.45	10	Serie	7
66.55	10	Serie	8
74.70	10	Serie	9
64.60	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
		Corrected for Ties	
47.9891	.0000	51.4321	.0000

Tab. 34: Kurve 1 Bewertung A in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases		
32.91	11	Serie	1
40.20	10	Serie	2
40.75	10	Serie	3
20.55	10	Serie	4
12.90	10	Serie	5
70.25	10	Serie	6
78.65	10	Serie	7
69.95	10	Serie	8
77.05	10	Serie	9
68.60	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
		Corrected for Ties	
63.4021	.0000	66.9682	.0000

Tab. 35: Kurve 1 Bewertung B in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases		
72.55	11	Serie	1
46.30	10	Serie	2
64.80	10	Serie	3
65.75	10	Serie	4
66.75	10	Serie	5
38.65	10	Serie	6
32.50	10	Serie	7
45.45	10	Serie	8
32.50	10	Serie	9
42.60	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Corrected for Ties Significance
24.7777	.0032	33.2349	.0001

Tab. 36: Kurve 1 Bewertung B in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases		
70.32	11	Serie	1
45.15	10	Serie	2
61.25	10	Serie	3
66.00	10	Serie	4
56.35	10	Serie	5
41.85	10	Serie	6
35.50	10	Serie	7
49.65	10	Serie	8
35.50	10	Serie	9
46.50	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Corrected for Ties Significance
16.1877	.0631	24.2662	.0039

Tab. 37: Kurve 1 Bewertung C in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases		
56.59	11	Serie	1
57.30	10	Serie	2
47.30	10	Serie	3
59.60	10	Serie	4
68.25	10	Serie	5
43.00	10	Serie	6
43.00	10	Serie	7
48.40	10	Serie	8
43.00	10	Serie	9
43.00	10	Serie	10

	101	Total	
Chi-Square	Significance	Corrected for Ties	Chi-Square
8.4106	.4934		20.8206
			Significance
			.0135

Tab. 38: Kurve 1 Bewertung C in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases		
69.45	11	Serie	1
56.60	10	Serie	2
45.90	10	Serie	3
75.00	10	Serie	4
75.10	10	Serie	5
36.00	10	Serie	6
36.00	10	Serie	7
42.10	10	Serie	8
36.00	10	Serie	9
36.00	10	Serie	10

	101	Total	
Chi-Square	Significance	Corrected for Ties	Chi-Square
29.9128	.0005		45.8403
			Significance
			.0000

Tab. 39: Kurve 1 Bewertung D in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases		
53.59	11	Serie	1
52.40	10	Serie	2
67.30	10	Serie	3
48.65	10	Serie	4
76.30	10	Serie	5
45.30	10	Serie	6
39.00	10	Serie	7
44.00	10	Serie	8
39.70	10	Serie	9
43.50	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
15.4930	.0783	21.1237	.0121

Tab. 40: Kurve 1 Bewertung D in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases		
65.00	11	Serie	1
62.80	10	Serie	2
62.20	10	Serie	3
73.05	10	Serie	4
89.75	10	Serie	5
34.00	10	Serie	6
27.90	10	Serie	7
33.05	10	Serie	8
29.10	10	Serie	9
31.75	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
51.9864	.0000	56.3343	.0000

Tab. 41: Kurve 1 Bewertung E in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases		
50.95	11	Serie	1
51.95	10	Serie	2
51.55	10	Serie	3
51.40	10	Serie	4
61.15	10	Serie	5
51.85	10	Serie	6
46.50	10	Serie	7
51.65	10	Serie	8
46.50	10	Serie	9
46.50	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Corrected for Ties Significance
1.9369	.9924	7.9310	.5411

Tab. 42: Kurve 1 Bewertung E in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases		
55.27	11	Serie	1
54.30	10	Serie	2
54.30	10	Serie	3
80.60	10	Serie	4
69.90	10	Serie	5
43.20	10	Serie	6
38.00	10	Serie	7
38.00	10	Serie	8
38.00	10	Serie	9
38.00	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Corrected for Ties Significance
23.4371	.0053	39.6866	.0000

Tab. 43: Kurve 1 Bewertung F in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases		
61.68	11	Serie	1
51.50	10	Serie	2
46.90	10	Serie	3
73.30	10	Serie	4
83.20	10	Serie	5
44.40	10	Serie	6
36.00	10	Serie	7
36.00	10	Serie	8
36.00	10	Serie	9
39.95	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Corrected for Ties Significance
29.3228	.0006	44.9297	.0000

Tab. 44: Kurve 1 Bewertung F in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases		
70.59	11	Serie	1
68.15	10	Serie	2
46.80	10	Serie	3
84.25	10	Serie	4
81.30	10	Serie	5
35.60	10	Serie	6
28.50	10	Serie	7
32.30	10	Serie	8
28.50	10	Serie	9
32.05	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Corrected for Ties Significance
54.9336	.0000	66.2264	.0000

Tab. 45: Kurve 1 Bewertung G in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases		
64.55	11	Serie	1
42.40	10	Serie	2
51.25	10	Serie	3
63.65	10	Serie	4
77.30	10	Serie	5
37.00	10	Serie	6
37.00	10	Serie	7
45.25	10	Serie	8
37.00	10	Serie	9
53.25	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
20.4273	.0155	32.8185	.0001

Corrected for Ties

Tab. 46: Kurve 1 Bewertung G in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases		
67.50	11	Serie	1
51.35	10	Serie	2
45.80	10	Serie	3
62.55	10	Serie	4
79.90	10	Serie	5
39.90	10	Serie	6
34.50	10	Serie	7
40.10	10	Serie	8
34.50	10	Serie	9
52.25	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
24.2671	.0039	34.9297	.0001

Corrected for Ties

7.5.2 Zervikaler Rand

Tab. 47: Kurve 2 Bewertung A in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases		
49.14	11	Serie	1
73.45	10	Serie	2
56.55	10	Serie	3
25.70	10	Serie	4
28.00	10	Serie	5
50.10	10	Serie	6
54.00	10	Serie	7
55.95	10	Serie	8
63.50	10	Serie	9
53.80	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
22.2029	.0083	22.2053	.0083

Tab. 48: Kurve 2 Bewertung A in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases		
52.64	11	Serie	1
70.10	10	Serie	2
60.00	10	Serie	3
28.00	10	Serie	4
31.20	10	Serie	5
44.85	10	Serie	6
45.15	10	Serie	7
54.25	10	Serie	8
64.90	10	Serie	9
58.75	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
19.8681	.0187	19.8698	.0187

Tab. 49: Kurve 2 Bewertung B in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases		
74.23	11	Serie	1
38.50	10	Serie	2
54.15	10	Serie	3
49.45	10	Serie	4
51.10	10	Serie	5
55.85	10	Serie	6
50.20	10	Serie	7
54.60	10	Serie	8
48.75	10	Serie	9
30.85	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Corrected for Ties Significance
14.0973	.1189	14.8920	.0939

Tab. 50: Kurve 2 Bewertung B in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases		
71.77	11	Serie	1
41.75	10	Serie	2
52.15	10	Serie	3
51.30	10	Serie	4
44.25	10	Serie	5
57.05	10	Serie	6
47.25	10	Serie	7
51.35	10	Serie	8
50.65	10	Serie	9
40.40	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Corrected for Ties Significance
8.9745	.4396	11.2095	.2616

Tab. 51: Kurve 2 Bewertung C in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases		
43.50	11	Serie	1
43.50	10	Serie	2
43.50	10	Serie	3
43.50	10	Serie	4
54.20	10	Serie	5
53.30	10	Serie	6
69.35	10	Serie	7
67.20	10	Serie	8
43.50	10	Serie	9
49.20	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance	Corrected for Ties
10.5394	.3086	27.5432	.0011	

Tab. 52: Kurve 2 Bewertung C in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases		
46.64	11	Serie	1
37.75	10	Serie	2
48.40	10	Serie	3
43.90	10	Serie	4
51.75	10	Serie	5
65.90	10	Serie	6
84.45	10	Serie	7
66.00	10	Serie	8
31.45	10	Serie	9
34.20	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance	Corrected for Ties
28.9411	.0007	34.5176	.0001	

Tab. 53: Kurve 2 Bewertung D in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases		
35.82	11	Serie	1
26.95	10	Serie	2
51.45	10	Serie	3
73.55	10	Serie	4
58.05	10	Serie	5
55.95	10	Serie	6
53.75	10	Serie	7
53.15	10	Serie	8
51.00	10	Serie	9
51.85	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Corrected for Ties Significance
16.6308	.0548	16.7137	.0534

Tab. 54: Kurve 2 Bewertung D in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases		
39.09	11	Serie	1
33.65	10	Serie	2
40.65	10	Serie	3
69.30	10	Serie	4
65.35	10	Serie	5
58.45	10	Serie	6
56.15	10	Serie	7
54.55	10	Serie	8
44.55	10	Serie	9
49.45	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Corrected for Ties Significance
14.4857	.1061	14.4881	.1060

Tab. 55: Kurve 2 Bewertung E in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases		
47.50	11	Serie	1
47.50	10	Serie	2
47.50	10	Serie	3
52.45	10	Serie	4
57.60	10	Serie	5
47.50	10	Serie	6
52.55	10	Serie	7
47.50	10	Serie	8
58.00	10	Serie	9
52.25	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Corrected for Ties Significance
1.8766	.9933	9.6802	.3770

Tab. 56: Kurve 2 Bewertung E in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases		
42.50	11	Serie	1
46.75	10	Serie	2
42.50	10	Serie	3
47.25	10	Serie	4
58.20	10	Serie	5
66.90	10	Serie	6
53.00	10	Serie	7
47.05	10	Serie	8
59.75	10	Serie	9
46.95	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Corrected for Ties Significance
7.0014	.6370	16.4845	.0574

Tab. 57: Kurve 2 Bewertung F in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases		
54.09	11	Serie	1
43.65	10	Serie	2
44.00	10	Serie	3
80.95	10	Serie	4
62.35	10	Serie	5
53.20	10	Serie	6
47.90	10	Serie	7
36.15	10	Serie	8
36.80	10	Serie	9
50.60	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
18.3591	.0312	20.7275	.0139

Corrected for Ties

Tab. 58: Kurve 2 Bewertung F in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases		
64.64	11	Serie	1
49.30	10	Serie	2
55.40	10	Serie	3
84.25	10	Serie	4
76.90	10	Serie	5
48.45	10	Serie	6
44.90	10	Serie	7
32.85	10	Serie	8
19.00	10	Serie	9
32.95	10	Serie	10

	101	Total	

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
43.4025	.0000	43.9319	.0000

Corrected for Ties

Tab. 59: Kurve 2 Bewertung G in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases	
54.18	11	Serie 1
48.80	10	Serie 2
40.40	10	Serie 3
46.80	10	Serie 4
67.70	10	Serie 5
64.80	10	Serie 6
51.90	10	Serie 7
49.10	10	Serie 8
38.90	10	Serie 9
47.10	10	Serie 10

	101	Total

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
9.1013	.4280	9.9864	.3516

Corrected for Ties

Tab. 60: Kurve 2 Bewertung G in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases	
61.41	11	Serie 1
64.35	10	Serie 2
47.50	10	Serie 3
56.70	10	Serie 4
66.45	10	Serie 5
60.70	10	Serie 6
49.05	10	Serie 7
39.40	10	Serie 8
30.40	10	Serie 9
33.00	10	Serie 10

	101	Total

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
18.1906	.0330	19.5004	.0213

Corrected for Ties

7.5.3 Übergang GIZ/Komposit (Sandwichtechnik)

Tab. 61: Kurve 3 Bewertung A in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases			
18.17	9	Serie 6		
8.80	10	Serie 7		
18.35	10	Serie 8		

	29	Total		
				Corrected for Ties
Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance	
8.0948	.0175	8.0968	.0175	

Tab. 62: Kurve 3 Bewertung A in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases			
18.00	9	Serie 6		
8.65	10	Serie 7		
18.65	10	Serie 8		

	29	Total		
				Corrected for Ties
Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance	
8.5166	.0141	8.5187	.0141	

Tab. 63: Kurve 3 Bewertung B in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases			
11.72	9	Serie 6		
21.60	10	Serie 7		
11.35	10	Serie 8		

	29	Total		
				Corrected for Ties
Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance	
9.1796	.0102	9.2273	.0099	

Tab. 64: Kurve 3 Bewertung B in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases	
12.44	9	Serie 6
19.65	10	Serie 7
12.65	10	Serie 8

	29	Total

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
4.5549	.1025	4.5560	.1025

Corrected for Ties

Tab. 65: Kurve 3 Bewertung C in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases	
15.00	9	Serie 6
15.00	10	Serie 7
15.00	10	Serie 8

	29	Total

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
.0000	1.0000	.0000	1.0000

Corrected for Ties

Tab. 66: Kurve 3 Bewertung C in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases	
13.00	9	Serie 6
17.40	10	Serie 7
14.40	10	Serie 8

	29	Total

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
1.3407	.5115	3.7282	.1550

Corrected for Ties

Tab. 67: Kurve 3 Bewertung D in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases	
11.89	9	Serie 6
19.40	10	Serie 7
13.40	10	Serie 8

	29	Total

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
4.2250	.1209	4.2250	.1209

Corrected for Ties

Tab 68: Kurve 3 Bewertung D in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases	
12.28	9	Serie 6
21.50	10	Serie 7
10.95	10	Serie 8

	29	Total

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
9.0099	.0111	9.0144	.0110

Corrected for Ties

Tab. 69: Kurve 3 Bewertung E in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases	
14.00	9	Serie 6
15.50	10	Serie 7
15.40	10	Serie 8

	29	Total

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
.1807	.9136	.9357	.6263

Corrected for Ties

Tab. 70: Kurve 3 Bewertung E in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases	
13.17	9	Serie 6
19.05	10	Serie 7
12.60	10	Serie 8

	29	Total

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
3.4741	.1760	4.8338	.0892

Corrected for Ties

Tab. 71: Kurve 3 Bewertung F in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases	
16.33	9	Serie 6
18.00	10	Serie 7
10.80	10	Serie 8

	29	Total

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
3.8952	.1426	4.0169	.1342

Corrected for Ties

Tab. 72: Kurve 3 Bewertung F in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases	
13.72	9	Serie 6
17.00	10	Serie 7
14.15	10	Serie 8

	29	Total

Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance
.8541	.6524	.8619	.6499

Corrected for Ties

Tab. 73: Kurve 3 Bewertung G in Prozent VOR TWB

Mean Rank	Cases			
13.00	9	Serie 6		
14.00	10	Serie 7		
17.80	10	Serie 8		

	29	Total		
				Corrected for Ties
Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance	
1.7159	.4240	2.2545	.3239	

Tab. 74: Kurve 3 Bewertung G in Prozent NACH TWB

Mean Rank	Cases			
15.56	9	Serie 6		
17.00	10	Serie 7		
12.50	10	Serie 8		

	29	Total		
				Corrected for Ties
Chi-Square	Significance	Chi-Square	Significance	
1.4521	.4838	2.3395	.3104	

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt in erster Linie Herrn Prof. Dr. R. Hickel für die Erlaubnis, dieses Thema zu bearbeiten und für die aufmerksame Beratung und Unterstützung.

Darüberhinaus bin ich Herrn Prof. Dr. A. Petschelt, Direktor der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie, sowie Herrn Dr. K.-H. Kunzelmann zu Dank verpflichtet.

Die statistischen Auswertung erfolgte am Institut für medizinische Statistik und Dokumentation der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen unter besonderer Mitwirkung von Herrn Dr. P. Martus, dem ich dafür herzlich danken möchte.

Außerdem gilt mein Dank Herrn Dr. J. Ebert für die Einweisung am Rasterelektronenmikroskop, sowie Herrn Herold für die Anfertigung der Photographien.

Lebenslauf

Am 01. Januar 1965 wurde ich als drittes von insgesamt fünf Kindern der Lehrerin Anna Neubauer, geb. Fritsch, und des Bäckergehilfen Johann Neubauer in Mühlberg/ Jahrdorf, heute Landkreis Passau, geboren.

In den Jahren 1971 bis 1975 besuchte ich die Grundschule Hauzenberg, daran anschließend das Gymnasium Untergriesbach (1975 bis 1984), wo mir am 29. Juni 1984 das Zeugnis der allgemeinen Hochschulreife erteilt wurde.

Im Oktober 1986 begann ich das Studium der Zahnmedizin an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen.

Am 31. Juli 1987 erhielt ich das Zeugnis über die naturwissenschaftliche Vorprüfung, am 11. April 1989 das Zeugnis über die zahnärztliche Vorprüfung. Am 30. Januar 1992 bestand ich die zahnärztliche Prüfung.

Die Approbation als Zahnarzt wurde mir am 12. Februar 1992 erteilt. Seit 17. Februar 1992 bin ich als Ausbildungsassistent in der Praxis eines niedergelassenen Kollegen tätig.